Diplomarbeit

Etablierung eines automatischen Messnetzes mit WindMaster Ultraschallanemometern:

Optimierung eine meteorologischen Station

Michael Fitzka

24. September 2008

Zusammenfassung

Ausgehend von der Verfügbarkeit von vier Ultraschallanemometern vom Typ "GILL INSTRUMENTS WindMaster 3D" mit zugehörigen Dataloggern (UNIDATA Starlog ProLogger) wurden Maßnahmen zur Optimierung des Betriebs dieser Geräte gesetzt: Durch die Erstellung eines Lastenheftes für eine ideale DAQ wurden die Mindestvoraussetzungen der Ultraschallanemometer an eine Datenerfassungseinheit zusammengestellt. Anhand dreier realer Geräte unterschiedlicher Preisklassen wurde evaluiert, inwiefern die Voraussetzungen in den verfügbaren Geräten verwirklicht sind, um die Eignung jedes der drei Kandidaten für die Aufnahme der Daten der Anemometer festzustellen. Durch die Erstellung des Softwarepaketes "SONAPP" wurde der Nutzwert der Stationen in der vorhandenen Zusammenstellung optimiert: SONAPP ermöglicht die Datenübertragung von den Stationen mittels GSM, sowie Module zur Zeitsynchronisation der Stationen und der Visualisierung und dem Export von Messdaten in verschiedene gängige Dateiformate. Es wurde außerdem festgestellt, dass die Entwicklungsumgebung "LabVIEW" von National Instruments hervorragend zur Behandlung von Fragestellungen nicht nur in der experimentellen Meteorologie, sondern auch in Anwendungen wie der Umsetzung numerischer Rechenmodelle und komplexen Datenanalyse, geeignet ist.

Abstract

Given the availability of four ultrasonic anemometers of the type "GILL INSTRUMENTS WindMaster 3D" along with dedicated data loggers (UNIDATA Starlog ProLogger), measures were taken to optimize the performance of this measuring arrangement. The minimum requirements of the ultrasonic anemometers on an ideal data acquisition unit were evaluated by setting up a specification book. Three actual data acquisition units of different price and specifications were evaluated against these requirements to determine, to what extent the minimum requirements are fulfilled and therefore whether they are eligible for servicing the anemometers. The software suite "SONAPP" was developed to optimize the user value of the current set-up: SONAPP facilitates the download of station-data via GSM and incorporates modules for time-syncing the loggers as well as for visualisation and export of measured data into various common file formats. Additionally, it was found, that the development environment "LabVIEW" by National Instruments is preeminently suited to deal with questions and needs not only of experimental meteorology, but also in applications like the implementation of numerical models and complex data analysis.

Inhaltsverzeichnis

I Einleitung **7**

1 Motivation und Zielsetzung **7**

2 Aufbau der Arbeit **8**

II Theoretische Grundlagen und Charakterisierung des Aufbaus **11**

3 Theorie der Schallgeschwindigkeit in Luft **11**

4 Funktionsprinzip eines Ultraschallanemometers **12**

5 Verwendete Geräte und mechanischer Aufbau **13**

6 Elektrische Konfiguration der Sensorik **14**
6.1 WindMaster - Datenrate 15
6.2 WindMaster - Analoge Ausgänge 15
6.3 WindMaster - Serielle Ausgänge 17
6.4 WindMaster - Energieversorgung 17
6.5 YSI-NTC 18
6.6 Erweiterung der Temperatursensorik zur Turbulenzmessung 19
6.7 SIEMENS TC35-Terminal - Spezifikationen 19

III Konfiguration einer DAQ **21**

7 Anforderungen an eine geeignete DAQ **21**
7.1 Analoge Eingänge 21
7.2 Serielle Eingänge 22
7.3 Abtast- und Speicherrate 22
7.4 Speicherplatz 23
7.5 Art der gespeicherten Daten 24
7.6 Datenübertragung und Schnittstellen 24
7.7 Zeitsynchronisation 25
7.8 Energieversorgung 25
7.9 Konstruktionsmerkmale 25

8 Diskussion geeigneter DAQs **26**
8.1 UNIDATA Starlog ProLogger 26
8.2 GRANT Squirrel SQ2020 30
8.3 DATATAKER DT80 34
8.4 Fazit 38

IV SONAPP **41**

9 Überblick **41**
9.1 Intention und Zielsetzung 41
9.2 Konzeption 42

10 Betriebsanleitung und Erläuterung der Funktionen **43**
10.1 Hauptfenster 43
10.2 Download station 46
10.3 Setup 48
10.4 View & export data 52
10.5 Systemanforderungen und Laufzeitumgebung 54

11 Konzept der wesentlichsten Programm-Module **56**
11.1 download_station.vi 56
11.2 download_station_get_DeltaT.vi 57
11.3 GraphEx.vi 58
11.4 Map.vi 59
11.5 Map_draw_windrose.vi 61
11.6 read_string_from_VISA_resource.vi 62
11.7 Starlog3_PDLOUT1.vi 62

12 Ausblick und mögliche Erweiterungen **64**

V Persönliche Einschätzung **67**

13 LabVIEW: Konzept und Anwendungsbereiche **67**

14 LabVIEW in der wissenschaftlichen Anwendung **68**

15 Optimierung einer meteorologischen Station **70**

VI ANHANG **77**

A Definitionen und Begriffserklärungen **77**

B Lizenzvereinbarung zur Nutzung von SONAPP **78**

C SONAPP: Vollständiger Quelltext **80**

Teil I

Einleitung

1 Motivation und Zielsetzung

Klassische Windmessgeräte beruhen überwiegend auf mechanischen Messprinzipien, indem der Windweg in eine Rotationsbewegung überführt wird. Zur Erfassung der atmosphärischen Turbulenz, und damit zur Bestimmung des fühlbaren und latenten Wärmestroms in der Energiebilanzgleichung sind diese jedoch nicht geeignet: Um die Kovarianz aus dem Vertikalwind und einem Skalar (z.B. relative Feuchte) bestimmen zu können, müssen turbulente Schwankungen mit einer hohen Abtastfrequenz gemessen werden, um das Turbulenzspektrum im Bereich von 10-20 Hz erfassen zu können. Auf derartig schnelle Änderungen können mechanische Geräte aufgrund ihrer Trägheit und ihrer hohen Anlaufgeschwindigkeit nicht reagieren. Die dafür geeigneten Geräte sind Ultraschallanemometer, die die Windkomponenten mit einer sehr hohen zeitlichen Auflösung erfassen können. Häufig werden diese mit optischen Messgeräten (z.B. Lyman-α-Hygrometer) zur Messung der relativen Feuchte kombiniert. Die Messzeit, über die die mittlere Turbulenz bestimmt werden muss, hängt dabei wesentlich von der atmosphärischen Stabilität, der Windgeschwindigkeit und der Messhöhe ab und beträgt für Messhöhen von 2-5 m am Tag, bei labiler Schichtung (Sommer) etwa 20-30 Minuten und in der Nacht (stabile Schichtung) etwa 30-120 Minuten. Bei kürzeren Messzeiten fehlen die langwelligen Anteile in den Flüssen, bei längeren Zeiten besteht die Gefahr, dass die Bedingungen nicht mehr stationär sind.

Das Institut für Meteorologie und Geodynamik (IMGW) der Universität Wien besitzt vier Ultraschallanemometer vom Typ "GILL INSTRUMENTS WindMaster 3D". Um die Daten dieser Geräte aufnehmen und speichern zu können, wurden diese um Datalogger des Hersteller UNIDATA, Modell "Starlog ProLogger", ergänzt. Diese Konfiguration beruht auf dem Vorschlag der Firma KRONEIS, die den lokalen Vertrieb der eben erwähnten Produkte sowie die Lieferung der Geräte an das IMGW und den Aufbau übernommen hat.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist dabei die genaue Analyse der Konfiguration dieser Geräte sowie die Bewertung des vorliegenden Aufbaus für verschiedene Einsatzzwecke, insbesondere für Langzeitmessungen sowie die zeitlich hochaufgelöste Turbulenzmessung. Ausgehend von der elektrischen Konfiguration der Geräte soll ein Lastenheft erstellt werden, das die Fähigkeiten einer idealen DAQ-Lösung mit realen Datenloggern vergleicht. Desweiteren soll mit einer mit NI LabVIEW erstellten Software zum automatischen Betrieb der vier Stationen sowie zum Auslesen und Darstellen der gewonnenen Datensätze, die Optimierung einer meteorologischen Station realisiert und die Eignung von LabVIEW bei diesem Vorhaben verdeutlicht werden.

2 Aufbau der Arbeit

Im ersten Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen zur Schallgeschwindigkeit in Luft sowie die Funktionsweise von Ultraschallanemometern erläutert. Ebenso wird der Aufbau der vorliegenden Messstationen beschrieben. Neben der Beschreibung des mechanischen Aufbaus wird insbesondere auf die elektrische Konfiguration eingegangen, da diese maßgeblich dafür verantwortlich ist, welche Messaufgaben mit diesem Gerät prinzipiell zu bewältigen sind. Desweiteren wird evaluiert, ob der Aufbau zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Messung der atmosphärischen Turbulenz tauglich ist, oder ob die Sensorik gegebenenfalls erweitert oder ersetzt werden müsste.

Der darauf folgende Abschnitt beschäftigt sich, ausgehend von dem im vorherigen Kapitel erläuterten Funktionsumfang, mit den Anforderungen, die eine DAQ (Data Acquisition unit) aufweisen muss, um die Möglichkeiten des GILL WindMaster ausreizen zu können. Dabei werden sämtliche Aspekte der Konfiguration berücksichtigt, wie Art und Anzahl der Eingänge (analog, digital, seriell, Frequenz, etc.), Abtast- und Speicherrate, verfügbarer Speicherplatz, die Art der gespeicherten Daten, Möglichkeiten zur Datenübertragung, Energieversorgung, sowie allgemeine Konstruktionsmerkmale und geforderte Umweltbedingungen. Es spielt hierbei keine Rolle, ob alle diese Anforderungen in dieser Zusammenstellungen tatsächlich in einem real existenten Gerät verfügbar sind: Das hier erstellte Lastenheft stellt lediglich die Anforderungen an eine ideale DAQ dar, die aus Sicht des WindMaster die optimale Lösung darstellen.

Im dritten Teil wird das Anforderungsprofil an eine ideal DAQ auf reale Geräte übertragen, d.h. es werden im konkreten Fall drei Geräte ausgewählt und anhand des Lastenhefts beurteilt, inwiefern das jeweilige Gerät zum Betrieb einer Station mit Ultraschallanemometer geeignet wäre, unabhängig von der Tatsache, dass am Institut für Meteorologie und Geodynamik bereits DAQs vorhanden sind. Es wird allerdings, um diesem Umstand Rechnung zu tragen, die bereits vorhandene Lösung in die Beurteilung mit einbezogen. Die drei möglichen Varianten, die evaluiert wurden, sind: UNIDATA Starlog ProLogger, GRANT Squirrel SQ2020 und DATATAKER DT80. Diese Auswahl stellt gleichwohl einen repräsentativen Querschnitt der am Markt erhältlichen DAQs dar, wobei der Leistungsumfang vom absoluten Minimum, der gerade eben den rudimentären Betrieb der Stationen sicherstellt, dabei aber gleichzeitig die erschwinglichste Variante darstellt, bis hin zur besten vorstellbaren Lösung reicht, mit der alle Funktionen des WindMaster voll aufgenommen werden können, die dementsprechend erhöhte Beschaffungskosten mit sich bringt.

Der momentane Betrieb der Stationen ist nicht im vollen, mit dem WindMaster grundsätzlich gegebenen Funktionsumfang möglich. Das Kernelement und den wesentlichen meteorologischen

Bezug dieser Arbeit stellt somit die Optimierung der meteorologischen Stationen dar. Zu diesem Zweck wird in diesem Kapitel die Erstellung einer Applikation mit National Instruments LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) dokumentiert, die, ausgehend vom eingeschränkten Betrieb, konzipiert wurde, um den Funktionsumfang des am IMGW vorliegenden Aufbaus mit vorhanden Mitteln zu erweitern. Genau erläutert werden das Konzept, Handhabung, Bedienung und Funktionsumfang dieser Anwendung, sowie die Funktionsweise der Kernmodule. Desweiteren wird ein Überblick über mögliche Erweiterungen und Verbesserungen der Applikation gegeben.

Das letzte Kapitel befasst sich mit dem Konzept von LabVIEW, sowie der Eignung dieser in der Wissenschaft wenig etablierten Entwicklungsumgebung zur Behandlung wissenschaftlicher Fragestellungen und speziell dem Einsatz in der experimentellen Meteorologie zur Datenerfassung, -aufzeichnung, -verarbeitung, -analyse und -visualisierung. In einer persönlichen Einschätzung wird das Konzept von LabVIEW vorgestellt und evaluiert. Es wird außerdem hervorgehoben, warum für diese Projekt gerade LabVIEW zur Anwendung gelangte und inwiefern damit die Optimierung einer meteorologischen Station realisiert wurde.

Teil II

Theoretische Grundlagen und Charakterisierung des Aufbaus

3 Theorie der Schallgeschwindigkeit in Luft

Schallgeschwindigkeit in trockener Luft

Schallwellen sind Druckwellen, bei denen die Luft in Ausbreitungsrichtung periodisch komprimiert wird, wobei die Volumsänderung nicht durch Wärmezufuhr erfolgt, sondern durch Kompression, d.h. adiabatisch [Etling 2002]. Während in festen Körpern sowohl longitudinale als auch transversale Wellen möglich sind, gibt es in Gasen (also auch in Luft) nur longitudinale mechanische Wellen, weil dort der Schermodul Null ist. Die Gleichung für die Phasengeschwindigkeit lautet:

$$v_{Ph} = \sqrt{\frac{p}{\rho}} \tag{1}$$

mit dem Druck p und der Dichte ρ der trockenen Luft. Hierbei wird angenommen, dass die Temperatur des Gases konstant bleibt. Das ist aber bereits bei Frequenzen von 1 kHz und mehr nicht mehr der Fall. Durch die periodische Kompression und Expansion des Gases wird die Temperatur an den Orten hohen Drucks größer als an denen tiefen Drucks. Wenn der Temperaturausgleich langsamer ist als die Schwingungsperiode der Welle, kann der Wärmeaustausch zwischen Wellenmaxima und -minima vernachlässigt werden (adiabatische Näherung). Mit dem Adiabatenkoeffizienten $\kappa = c_p/c_v$ ergibt sich Gleichung (1) nunmehr zu [Demtröder 2003]:

$$v_{Ph} = \sqrt{\frac{p}{\rho}\kappa} \tag{2}$$

Durch Einsetzen aus der Gasgleichung $p = R\rho T$ mit der Gaskonstante trockener Luft $R = 287[\frac{J}{kg \cdot K}]$ kann Gleichung (2) weiter vereinfacht werden zu

$$v_{Ph} = \sqrt{RT\kappa} \tag{3}$$

Die Schallgeschwindigkeit in trockener Luft hängt somit nicht von der Wellenlänge der Schallwellen ab. Sie ist nicht dispersiv, sondern nur mehr von der Temperatur abhängig [Etling 2002].

Schallgeschwindigkeit in feuchter Luft

Während trockene Luft aus einem Gasgemisch annähernd konstanter Zusammensetzung besteht, kann feuchte Luft eine variable Menge Wasserdampf enthalten. Wasserdampf ist *kein*

permanentes Gas in der Atmosphäre, da er durch Kondensation und Sublimation, also durch Aggregatszustandsänderungen, der Atmosphäre entzogen werden kann. Aufgrund der geringeren Molmasse von Wasserdampf gegenüber (trockener) Luft hat feuchte Luft bei gleichem Druck eine geringere Dichte [Zmarsly et al. 2002]. Im Allgemeinen ist die Luft in der Atmosphäre feucht, nach Gleichung (2) ist jedoch die Schallgeschwindigkeit von der Dichte der Luft, und damit von der Luftfeuchtigkeit abhängig.

Diesem Umstand wird durch die Einführung der virtuellen Temperatur T_v Rechnung getragen. Ihre besondere Bedeutung liegt darin, dass sie es ermöglicht, die Luftfeuchtigkeit relativ einfach in der Gasgleichung berücksichtigen zu können [Kraus 2004]. T_v ist im eigentlichen Sinn kein Feuchtemaß, sondern eine thermodynamische Rechentemperatur. Sie ist jene Temperatur, die trockene Luft annehmen müsste, um bei gleichem Druck dieselbe (also niedrigere) Dichte wie feuchte Luft aufzuweisen. Der Ausdruck für die virtuelle Temperatur lautet:

$$T_v = T(1 + 0.61q) \qquad \text{wobei} \qquad q = \frac{\rho_v}{\rho_f} \tag{4}$$

mit der spezifischen Feuchte q, der Dichte von Wasserdampf ρ_v und der Dichte feuchter Luft ρ_f [Kraus 2004]. Der Faktor 0.61 ergibt sich aus dem Verhältnis der Gaskonstanten von trockener Luft und Wasserdampf. Somit ist die virtuelle Temperatur um den Virtuellzuschlag $(T \cdot 0.61 \cdot q)$ höher als die Temperatur trockener Luft [Zmarsly et al. 2002].

Durch Einsetzen der virtuellen Temperatur T_v in Gleichung (3) erhält man für die Schallgeschwindigkeit in feuchter Luft nunmehr:

$$v_{Ph} = \sqrt{RT_v\kappa} \tag{5}$$

Dies ist die Geschwindigkeit, mit der die Ultraschallimpulse bei Windstille zwischen Sendern und Empfängern eines Ultraschallanemometers hin und her wandern (Kapitel 4).

4 Funktionsprinzip eines Ultraschallanemometers

Heute arbeiten Ultraschallanemometer nahezu ausschließlich nach dem Laufzeitverfahren mit direkter Zeitbestimmung. Dabei wird entlang einer Messstrecke von einer Seite ein Ultraschallsignal (ca. 100 kHz) ausgesandt und auf der anderen Seite wieder empfangen. Das Senden und Empfangen dieser Impulse wird mit dem piezo-elektrischen bzw. dem inversen piezo-elektrischen Effekt bewerkstelligt [Demtröder 2003]. Bedingt durch den Wind erreicht das Signal in eine Richtung den Empfänger früher als in die entgegengesetzte Richtung. Anschließend wird ebenso in die Gegenrichtung ein Signal ausgesandt. Der Ablauf ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt:

Zum Zeitschritt t_1 sendet der Sender einen Ultraschallimpuls mit Phasengeschwindigkeit c aus, der nach einer Laufzeit Δt_1 die (feste) Strecke Δx zwischen Sender und Empfänger zurückgelegt hat und vom Empfänger detektiert wird. Diese Laufzeit Δt_1 ist die zu messende Größe. Zum Zeitpunkt t_1 erhält man:

$$t_1 : \quad \frac{\Delta x}{\Delta t_1} = c - u \tag{6}$$

Da die Windkomponente u der Fortpflanzungsrichtung des Impulses entgegengesetzt ist, wird die Ankunft des Impulses am Empfänger zeitlich verzögert. Danach (t_2) wird der Empfänger selbst zum Sender und sendet einen Impuls in die entgegengesetzte Richtung aus, der vom Empfänger, der im vorherigen Zeitschritt der Sender war, empfangen wird. Für den Zeitschritt t_2 ergibt sich:

$$t_2 : \quad \frac{\Delta x}{\Delta t_2} = c + u \tag{7}$$

Durch Kombination von (6) und (7) erhält man durch Addieren oder Subtrahieren:

$$(t_2 + t_1) : \quad \frac{\Delta x}{\Delta t_2} + \frac{\Delta x}{\Delta t_1} = 2c \tag{8}$$

$$(t_2 - t_1) : \quad \frac{\Delta x}{\Delta t_2} - \frac{\Delta x}{\Delta t_1} = 2u \tag{9}$$

Dass heißt, dass man direkt aus der Differenz in Gleichung (9) die Windkomponente unabhängig von der (feuchteabhängigen) Phasengeschwindigkeit des Schalls berechnen kann. Wird die Phasengeschwindigkeit dennoch berücksichtigt, kann mit Gleichung (5) daraus direkt die virtuelle Temperatur der Luft berechnet werden, und zwar mit derselben hohen zeitlichen Auflösung wie die Windgeschwindigkeit selbst [Foken 2006]. Durch Kombinieren von drei zueinander verdrehten Sender/Empfänger-Paaren kann so der vollständige dreidimensionale Windvektor bestimmt werden.

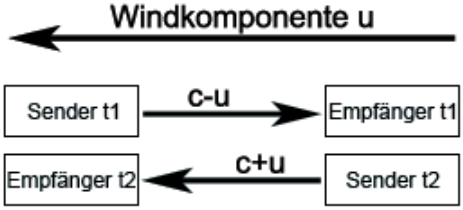

Abbildung 1: Schematisches Funktionsprinzip eines Ultraschallanemometers (siehe Abschnitt 4)

5 Verwendete Geräte und mechanischer Aufbau

Von der Firma KRONEIS wurden vier Ultraschallanemometer vom Typ GILL INSTRUMENTS WindMaster 3D geliefert. Ergänzt werden diese durch DAQs vom Typ UNIDATA Starlog Pro-Logger. Die Anemometer wurden auf einen 3 m-Mast montiert. Auf eben diesem wurde ein

Schaltschrank zur Unterbringung des Datalogger vorgesehen, der auch eine Anschlusskarte zum Anschluss des Anemometers an den Datalogger beherbergt. Zusätzlich dazu wurde auf dem Mast auch noch ein Temperatursensor des Typs YSI 44212 angebracht, der in einem Strahlungsschutz montiert ist.

Die Datenübertragung von der Station erfolgt entweder durch direkte Verbindung des Datenloggers mit einem seriellen Kabel (RS232 25-Pin zu 9-Pin) oder über GSM. Zu diesem Zweck ist in jedem Schaltschrank ein GSM-Modem vom Typ Siemens TC35-Terminal verbaut, dessen serielle Schnittstelle mit der des ProLoggers verbunden ist. Die Energieversorgung für das Modem kann entweder permanent hergestellt werden, oder über die Schaltausgänge des ProLoggers zeitabhängig gesteuert werden. Letztere Option ist insbesondere bei Batteriebetrieb der Station dringend empfohlen.

Abbildung 2: Obenstehende Abbildung zeigt die behandelte Messanordnung mit dem WindMaster Ultraschallanemometer (ganz oben auf dem Masten), sowie den im Strahlungsschutz untergebrachten Temperatursensor. ImSchaltschrank befinden sich der Datalogger und das GSM Modem

6 Elektrische Konfiguration der Sensorik

Alle technischen Angaben gemäß [Gill Instruments Ltd 2000].

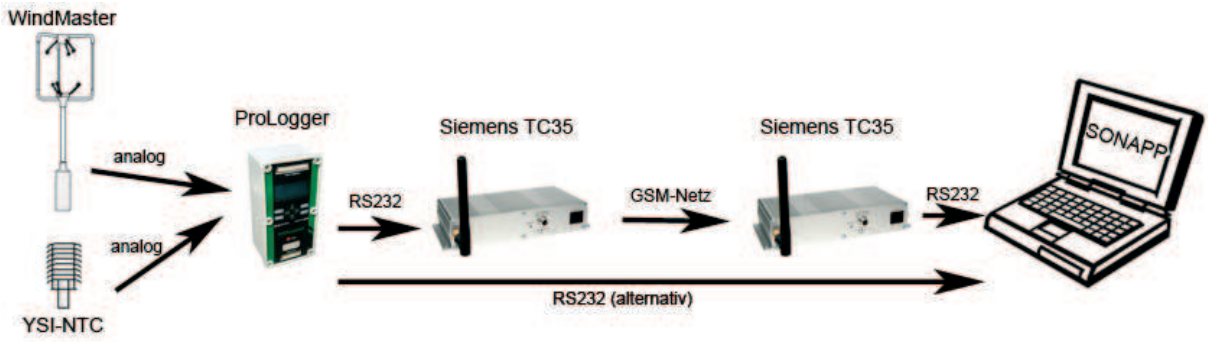

Abbildung 3: Die Abbildung zeigt den schematischen Datenfluss von der Erfassung der Daten bis hin zu deren Speicherung

6.1 WindMaster - Datenrate

Die Ausgaberate der analogen als auch der seriellen Ausgänge kann auf 1, 2, 4, 8, 10, 16 oder 20 Hz eingestellt werden. Desweiteren besteht die (aufpreispflichtige) Option auf eine Ausgaberate von 32 Hz, die bei den vorliegenden Geräten allerdings nicht verfügbar ist.

Unbeschadet davon arbeitet das Gerät intern immer mit einer Sampling-Rate von 40 Hz. Die mit 40 Hz gemessenen Werte werden über die Periode der Datenrate gemittelt. Damit ist sichergestellt, dass am Eingang des Loggers keine Frequenzen anliegen, die größer als die halbe Abtastfrequenz sind. Auf einen Tiefpassfilter zur Filterung von Störsignalen (Rauschen, Netzbrummen, etc.) kann also verzichtet werden [Foken 2006].

6.2 WindMaster - Analoge Ausgänge

Spannungsausgänge:

Die Spannungsausgänge können auf folgende Bereiche eingestellt werden:

- 0-5 VDC, ±2.5 VDC; Auflösung 11 bit (2048 Schritte á 2.44 mV)
  Bei einem Messbereich von ±30 m/s kann im Idealfall 0.029 m/s aufgelöst werden. Die Messungenauigkeit von ±1.5% (im Messintervall 0-20 m/s) bedeutet bereits bei 1m/s einen Fehler von ±.015 m/s.

- ±5 VDC; Auflösung 11 bit (2048 Schritte á 4.88 mV). Bei einem Messbereich von ±30 m/s kann im Idealfall 0.03 m/s aufgelöst werden.
  Dieser Spannungsbereich wird im Datenblatt zwar erwähnt, scheint aber bei den vorliegenden Geräten nicht zu existieren. Zumindest ist eine Belegung dieses Ausgangs in der mitgelieferten Software nicht konfigurierbar, von der Verwendung muss abgesehen werden.

Abbildung 4: Im Schaltschrank befinden sich das GSM-Modem Siemens TC35 (rechts unten) sowie der Datenlogger vom Typ "UNIDATA Starlog ProLogger". Der Schaltschrank schützt die untergebrachten Geräte vor Feuchtigkeit und großen Temperaturschwankungen und stellt gleichzeitig einen rudimentären Strahlungsschutz dar.

Stromausgänge:

- 0-20 mA; Auflösung 11 bit (2048 Schritte á 9.8 μA)
  Auch hier liegt die Messungenauigkeit von $\pm$.015 m/s deutlich über der theoretisch möglichen Auflösung von 0.01 m/s.
  Gegenüber dem 4-20 mA-Bereich vergrößert man hierbei bei gleichbleibender Auflösung die Schrittgröße, was die erreichbare Genauigkeit verbessert.

- 4-20mA; Auflösung 11bit (2048 Schritte á 7.8 μA)
  Die Messungenauigkeit von $\pm$.015 m/s liegt in der Größenordnung der theoretisch möglichen Auflösung von 0.015 m/s. Gegenüber dem 0-20 mA-Eingang bietet dieser Eingang die Möglichkeit, das Ultraschallanemometer bzw. die Signalleitung grob auf die Funktionstüchtigkeit zu prüfen. Dabei entsprechen 4 mA Windstille, gleichzeitig muss aber das Gerät aktiv ein Signal aufrechterhalten. Erreicht das Signal den Wert Null, ist entweder im Sensor selbst oder in der Leitung ein Defekt aufgetreten.

Bei Verwendung der Stromausgänge stehen im UVW-Modus nur die beiden horizontalen Achsen U und V zur Verfügung, die vertikale Windkomponente W wird hierbei nicht ausgegeben. Der dritte Kanal wird in diesem Modus zur Ausgabe eine Referenzspannung (0 VDC: Status O.K.; 2.5 VDC: Fault) benutzt. Da auf die Messung der vertikalen Komponente, die einen

wesentlichen Vorteil der Ultraschallanemometer gegenüber herkömmlichen Schalenkreuz- oder Propeller-Anemometern darstellt, keinesfalls verzichtet werden kann, kommt die Benützung der Stromausgänge nicht in Frage. Aus diesem Grund werden auch in Kapitel 8 die Stromeingänge an den diversen DAQs nicht weiter behandelt.

6.3 WindMaster - Serielle Ausgänge

Die serielle Schnittstelle (RS422) liefert die Daten mit einer Frequenz von 1, 2, 4, 8, 10, 16 oder 20 Hz mit allen gängigen Baudraten von 1200 bis 38,400 bps. Die Windgeschwindigkeit wird mit einer Auflösung von 0.01 m/s ausgegeben. Gegenüber den analogen Kanälen wird hier eine dreimal höhere Auflösung erreicht.

Durch die Verwendung der RS422 Schnittstelle ergeben sich nachfolgend einige Probleme: Die Umsetzung von RS232 auf RS422 ist mit einer Pegelanhebung verbunden, eine zusätzliche, nicht unerhebliche Energieversorgung (ca. 2 W bzw. 183 mA bei 12 VDC) ist notwendig. Mit netzunabhängiger Versorgung im Feld ist diese Leistung über längere Zeit praktisch nicht bereitstellbar, insbesondere da eine permanente (nicht mit dem Messintervall synchronisierte) Versorgung notwendig ist. Seitens GILL INSTRUMENTS wird daher ein PCI (Power and Communications Interface) angeboten, das eine Energieversorgung sowohl für das Anemometer selbst als auch für die Umsetzung von RS422 auf RS232 enthält, ihrerseits aber ebenfalls auf eine Netzanbindung angewiesen ist. Abgesehen davon steht am IMGW das PCI nicht zu Verfügung.

Problematisch ist dies insofern, als dass die meisten Logger zwar über eine serielle Schnittstelle zur Anbindung an die Sensorik verfügen, in den meisten Fällen ist diese I/O jedoch eine RS232.

6.4 WindMaster - Energieversorgung

Das WindMaster Ultraschall-Anemometer benötigt permanent eine Spannungsversorgung mit 9-30VDC mit einer maximalen Stromaufnahme von 120 mA (Angabe laut Datenblatt). Bei einer Spannungsversorgung mit 12 VDC liegt daher die Stromaufnahme bei ungefähr 90 mA.

Beispiel: Hochleistungs NiCd-Akku, 12 V, Kapazität 36 Ah; Unter Idealbedingungen, insbesondere bei optimaler Temperatur (≈22 °C), kann der Aufbau höchstens 16.5 Tage betrieben werden. Akkumulatoren mit derartig hoher Kapazität sind allerdings sehr teuer (ca. 200 Euro; Stand Herbst 2007). Zieht man billigere Akkus in Betracht (12 Ah, 90 Euro), sinkt die maximale Betriebsdauer auf nur noch 5.5 Tage.

Durch die recht hohe Stromaufnahme kommt eine Versorgung der Sensorik über die allfällige

interne Batterie eines Dataloggers keinesfalls in Frage, der WindMaster benötigt eine eigene Energieversorgung.

6.5 YSI-NTC

Spezifikationen

Zur Temperaturmessung wird ein Composite-Thermistor vom Typ YSI 44212 verwendet. Dieser besteht aus einem NTC-Widerstand, der mit einem Widerstandsnetzwerk kombiniert wurde, um die Nichtlinearitäten des NTC zu kompensieren. Als Resultat dessen ist das Ausgangssignal (entweder Spannung oder Gleichstromwiderstand) linear abhängig von der gemessenen Temperatur [Campbell scientific (Canada) corp. 2004].

Zur Bestimmung der Temperatur wird der Spannungsabfall einer Referenzspannung (U_{Ref}, möglichst konstant bei 5 VDC) am NTC gemessen. Die Beziehung zwischen gemessener Spannung (und damit Widerstandswert des NTC) und gemessener Temperatur lautet [Yellow Springs Instruments Co., Inc. 1989]:

$$t[^\circ C] = \frac{U_{Mess}[V] - U_{Ref}[V] \cdot 0.407}{U_{Ref}[V] \cdot 0.00559149} \tag{10}$$

Die möglichen Werte von U_{Mess} erstrecken sich von 0VDC (kein Spannungsabfall am NTC) bis 5 VDC (maximaler Spannungsabfall). Das entspricht einem Messbereich von -72.8 bis +106 °C.

Die absolute Genauigkeit des verwendeten NTC-Widerstandes liegt bei ±0.09 °C [Yellow Springs Instruments Co., Inc. 1989], eine effektive Auflösung kleiner als 0.1 °C scheint nicht sinnvoll. Einer Auflösung von 0.1 °C entsprechen 1788 Schritte á 2.79 mV, es würde also ein analoger Spannungseingang mit 0-5 VDC und 11 bit effektiver Auflösung (2048 Schritte á 2.44 mV) völlig ausreichen, um die Dynamik und die Genauigkeit des NTC wiederzugeben. Unter Berücksichtigung sämtlicher Fehlerquellen bei der A/D-Wandlung würde eine Einheit mit einer theoretischen Auflösung von 12 oder 13 bit über den Spannungsbereich von 0 bis 5 VDC benötigt werden.

Eignung zur Turbulenzmessung

Nach [Foken 2006] erfordert die Messung der isotropen (atmosphärischen) Turbulenz sowie Turbulenz auf noch kleinerer Skala sämtliche Parameter wie Feuchte, Temperatur und Wind eine hochgenaue Messung derselben mit einer zeitlichen Auflösung von 10-20 Hz.

Die Fähigkeit eines Temperatursensors, sich auf veränderte Bedingungen mit exponentiellem Verlauf einzustellen, wird beschrieben durch

$$x(t) = x_\infty . \left(1 - e^{-\frac{1}{\tau}}\right) \tag{11}$$

Dabei ist x_∞ der veränderte Umgebungsparameter. τ wird als Zeitkonstante bezeichnet und ist ein Maß für die Trägheit eines Messsystems. Die Zeitkonstante ist jene Zeit, die das System benötigt, um sich seinem Endwert auf $\left(1 - \frac{1}{e}\right)$ (ca. 63%) zu nähern.

Laut Angaben des Herstellers beträgt die Zeitkonstante des verwendeten NTC Typ 44212 bei Temperaturmessungen an der Luft rund zehn Sekunden [Yellow Springs Instruments Co., Inc. 1989]. Zusätzlich wurde beim vorliegenden Aufbau der Thermistor in eine Metallhülse eingebaut, um klaglose Funktion bei Langzeitmessungen zu gewährleisten. Diese bringt natürlich eine gesteigerte Trägheit mit sich. Von der Bestimmung der Zeitkonstante des gesamten Sensors (inkl. Metallhülse) wird abgesehen, da schon der NTC alleine zu träge zur Turbulenzmessung ist.

Aufgrund der beträchtlichen Trägheit des Temperatursensors kann keineswegs die geforderte Messrate von 10-20 Hz erreicht werden. Ohne zusätzliche hochauflösende Temperaturmessung kann der Aufbau nicht zur Turbulenzmessung verwendet werden.

6.6 Erweiterung der Temperatursensorik zur Turbulenzmessung

Zur hochauflösenden Messung der Temperatur (sowohl Zeit als auch Magnitude) muss ein Sensor mit besonders kleiner Zeitkonstante und hoher absoluter Genauigkeit herangezogen werden. Die Messung muss mit einer Rate von 10-20 Hz durchgeführt werden [Foken 2006], der Sensor muss daher eine sehr kleine Zeitkonstante aufweisen ($\tau \leq 0.2^{-1}$ s). Als Sensorik kommen in erster Linie freitragende Widerstandsdrähte mit sehr geringem Durchmesser in Frage (z.B. Pt100). Diese könnten an freie Eingänge an der DAQ dem bestehenden Aufbau hinzugefügt werden.

Aufgrund des hohen Wartungsaufwandes sowie der extremen (mechanischen) Empfindlichkeit eines solchen Drahtes ist allerdings von einem Dauereinsatz desselben unbedingt Abstand zu nehmen.

6.7 SIEMENS TC35-Terminal - Spezifikationen

Das Siemens TC35 Terminal ist ein sehr weit verbreitetes, vergleichsweise günstiges und ausgereiftes GSM Modem. Es beherrscht den standartisierten AT-Befehlssatz [Siemens 2008] sowie sämtliche Verbindungstypen (Sprachtelefonie, Datenübertragung, SMS und FAX) auf den üblichen Frequenzbändern GSM 900 und GSM 1800. Es besitzt einen internen SIM-Card-Reader, der die üblichen 3V-SIM-Karten unterstützt. Zum Empfang eines verfügbaren Netzes benötigt

es eine externe Antenne, die sowohl für das Modem am Host-PC als auch für jede Station (diese wird auf ein entsprechendes Gewinde am Schaltschrank aufgeschraubt) vorhanden. Die RS232-Schnittstelle unterstützt sämtliche Baudraten von 300 bps bis 115200 bps. Um die klaglose Funktion zu gewährleisten, muss die Betriebstemperatur zwischen -20 °C und +55 °C und die relative Feuchte unter 80% liegen, was durch die Unterbringung in einem hellen Schaltschrank die meiste Zeit gegeben sein sollte [Siemens 2007].

Teil III
Konfiguration einer DAQ

7 Anforderungen an eine geeignete DAQ

7.1 Analoge Eingänge

Spannungseingänge:

Die Spannungsbereiche der analogen Ausgänge müssen von der DAQ unterstützt werden. Dabei sollten sie in etwa denen des WindMaster entsprechen:

Wird ein zu geringer Bereich gewählt, kann nicht der volle Dynamikbereich des Sensors übertragen werden. Ein zu großer Bereich vermindert die erreichbare Auflösung, d.h. die DAQ muss gegebenenfalls eine höhere Auflösung (>11 bit) bereitstellen, um das Signal brauchbar auflösen zu können, was wiederum unnötig hohe Anforderungen an die DAQ mit sich bringt, die sich in Folge besonders im Preis niederschlagen. Es erscheint dennoch sinnvoll, einen (in beide Richtungen) etwas vergrößerten Bereich (10-20%) zu veranschlagen, um eventuelle Sensor-Drift (v.A. Abweichungen vom Nullpunkt) erkennen zu können, die bei einem exakt passenden Bereich zwar erkennbar, aber nicht quantifizierbar wäre, da dieser bei einer Verschiebung des Nullpunktes und Vollaussteuerung den Spannungsbereich bereits übersteuern würde. Gleichzeitig ist damit ein rudimentärer Schutz gegen Übersteuerungen der Eingänge realisiert.

Beispiel: WindMaster analog out ±2.5 VDC mit 11bit (2048 Schritte á 2.44 mV) in ProLogger ±5 VDC mit 16 bit (65536 Schritte á 153 μV), nur die Hälfte des Spannungsbereichs der DAQ wird ausgenutzt. Wegen der recht hohen Auflösung des Loggers kann der Spannungsbereich von ±2.5 VDC aber trotzdem ausreichend aufgelöst werden.

Stromeingänge:

Es gilt das Nämliche wie bei den Spannungsausgängen: Nur mit passenden Messbereichen kann mit ökonomischen Mitteln eine ideale Auflösung und damit Genauigkeit verwirklicht werden.

Auflösung:

Die DAQ muss zumindest dieselbe effektive Auflösung über den verwendeten Bereich wie die Spannungs- bzw. Stromausgänge des Ultraschallanemometers haben. Eine zu geringe Auflösung verschlechtert die Messgenauigkeit. Dementsprechend ist eine höhere Auflösung zu bevorzugen. Besonders aufgrund der Fehlerquellen in der A/D-Wandlung (Rauschen, Nichtlinearitäten, Offset, etc.) ist eine höhere theoretische Auflösung notwendig, um eine ausreichend hohe effektive

Auflösung bereitstellen zu können.

Beispiel: Siehe Kapitel 7.1→Spannungseingänge

Anzahl und Konfiguration

Um den WindMaster im UVW-Modus einsetzen zu können, werden folgende Kanäle bzw. Parameter benötigt (in Bezug auf Abschnitt 6.2 werden die Stromausgänge des WindMaster nicht weiter behandelt):

- Windgeschwindigkeit in x-, y-und z-Richtung (jeweils ±2.5 VDC)
- Spannung am NTC-Widerstand (0-5 VDC)
- Referenzspannung zu Berechnung der Temperatur (konstant 5 VDC)

Die beiden letztgenannten fallen für die Temperaturmessung an. Zusätzlich wäre eine Aufzeichnung der Versorgungsspannung des WindMaster (U_{Batt}) sowie des Flagging-Kanals (OK/Fault) wünschenswert (12 VDC m. Spannungsteiler bzw. 0/2.5 VDC).

In Summe werden also zumindest sechs analoge Kanäle benötigt, dabei ist die Verwendung differentieller Eingänge auf jeden Fall vorzusehen, da ansonsten durch Erdschleifen aufgrund unterschiedlicher Potentiale der Eingänge, insbesondere zwischen UVW und Temperatur bzw. U_{Ref} mit Rauschen und Offset-Spannungen zu rechnen ist. Zumindest zwischen U, V und W ist jedenfalls gleiches Potential sichergestellt, Erdschleifen sind hier nicht zu befürchten, hier würden single-ended Eingänge ausreichen.

7.2 Serielle Eingänge

Bei der Verwendung der seriellen Schnittstelle müssen die Baudraten des WindMaster (1200 bis 28400 bps) unterstützt werden, um Datenverlust bei der Übertragung zu verhindern. Mit einer zu geringen Rate würde die DAQ zwar alle Werte empfangen können, aber nicht schnell genug aus dem internen Buffer auslesen, die gerade empfangenen Daten würden noch vor der Speicherung von den nachfolgenden im Buffer überschrieben werden. Desweitern wäre eine Schnittstelle vom Typ RS422 wünschenswert, da ansonsten zur Pegelanhebung bei der Umsetzung auf RS232 eine zusätzliche Energieversorgung benötigt würde (siehe Abschnitt 6.3). Liegt keine RS422-Schnittstelle vor, kann die Station nicht netzunabhängig betrieben werden.

7.3 Abtast- und Speicherrate

Eine passende DAQ muss in der Lage sein, jeden einzelnen der sechs analogen Kanäle (U, V, W, U_{NTC}, U_{Ref}, U_{Batt}) zumindest einmal in der Sekunde (je nach Konfiguration des Anemometers) abzufragen und den Wert zu speichern. Der WindMaster unterstützt keine Datenraten

langsamer als 1 Hz. Wesentlich ist dabei, dass das Log-Intervall gleich dem Scan-Intervall ist, da ansonsten der Logger Mittelwerte über das Log-Intervall bildet ($t_{scan} < t_{log}$), womit das Speichern von Rohdaten verhindert wird. Außerdem darf die Scanrate keinesfalls langsamer als 1Hz sein, da das Anemometer über keine längeren Perioden gemittelte Werte ausgeben kann.

Da viele Logger grundsätzlich alle (also nicht nur die tatsächlich belegten) Kanäle abfragen, muss insbesondere auf die Summen-Abtastrate geachtet werden. Es gilt:

$$\text{max. Abtastrate pro Kanal} = \frac{\text{Summenabtastrate}}{\text{Anzahl der Kanäle}} \tag{12}$$

d.h. die Summenabtastrate teilt sich auf die vorhandenen Kanäle auf.

7.4 Speicherplatz

Um die Skaligkeit von turbulenten Phänomenen adäquat wiedergeben zu können, muss der Messzeitraum bei labiler Schichtung (z.B. Tag) mindestens 10-20 Minuten betragen, bei stabilen Schichtungen (z.B. Nacht) erhöht sich die Zeitspanne auf zumindest 30-60 Minuten [Foken 2006]. Eine DAQ muss also in der Lage sein, zeitlich hochaufgelöste Daten über die oben genannten Zeiträume zu speichern. Jedoch wird in der Regel die tatsächliche Messdauer deutlich darüber liegen (3-4×), was die Anforderungen zusätzlich erhöht.

Der Speicherbedarf pro Aufzeichnungsintervall (Loggröße) wird durch die Anzahl der aufzuzeichnenden Größen pro Kanal und deren Auflösung vorgegeben. Es gilt:

$$\text{max. Aufzeichnungszeitraum} = \frac{\text{Speicherplatz}}{\text{Loggröße}\cdot\text{Logintervall}} \tag{13}$$

Insbesondere bei der Verwendung eines Ultraschall-Anemometers, das besonders hohe zeitliche Auflösungen bereitstellen kann, sind dementsprechend große Speichermengen vorzusehen.

Beispiel: 6 Kanäle (U, V, W, U_{NTC}, U_{Ref}, U_{Batt}) á 2Byte (16bit) Speicherbedarf, 1 Aufzeichnung pro Sekunde → 12 Byte/s bzw. 1036 kB/d

Anmerkung: Es scheint nicht sinnvoll, nur langsam veränderliche Größen wie Referenzspannung (U_{Ref}) und Versorgungspannung (U_{Batt}) eben sooft abzufragen wie die hochfrequente Windgeschwindigkeit. In diesem Beispiel wurde dies jedoch absichtlich so angenommen: Der UNIDATA ProLogger, der im Folgenden eingesetzt werden soll, kann mehrere Kanäle nicht unterschiedlich oft abfragen, alle Kanäle werden mit derselben Frequenz abgetastet.

Es reicht allerdings nicht aus, mit dem vorhandenen Speicherplatz nur die (planmäßige) Zeit zwischen zwei Auslesevorgängen abzudecken: Es müssen Reserven vorhanden sein, falls das

Auslesen per GSM ein- oder mehrmals fehlschlägt oder die Stationen weit auseinanderliegen und die Daten manuell mit Kabel über die serielle Schnittstelle ausgelesen werden sollen. Der Speicherplatz sollte also für die Aufzeichnungsdauer von zwei planmäßigen Abfrageintervallen dimensioniert werden.

7.5 Art der gespeicherten Daten

In der wissenschaftlichen Anwendung ist es prinzipiell wünschenswert, dass die DAQ die Rohdaten in vollem Umfang und *vor* der Anwendung von Operatoren (Filterung, Glättung, Mittelwert, Anwendung von Algorithmen, ...) gespeichert werden. Zur Kalibrierung sowie zur späteren Fehlerkorrektur beim Auftreten von Fehlern ist dies unerlässlich. Sämtliche Daten können ohnehin nach der Übertragung an einen Computer mit ebendiesem prozessiert werden, es ist nicht nötig, dass der Logger diese Operationen durchführt.

7.6 Datenübertragung und Schnittstellen

Die Datenübertragung an einen Computer kann auf zwei Arten bewerkstelligt werden: über eine serielle Schnittstelle (RS232, RS485, RS422, USB) oder über portable Speichermedien (SD-Karte, USB-Stick etc.).

Bei der seriellen Schnittstelle ist im Allgemeinen mit der Verfügbarkeit einer RS232-Verbindung zu rechnen. In Hinblick auf die weitere Entwicklung wäre allerdings USB die angenehmere Lösung, da es mittlereweile von praktisch allen Rechnern klaglos unterstützt wird, ganz im Gegensatz zu RS232: Insbesondere unter MS Windows XP (und vermutlich auch Vista) ist die Funktionalität von RS232 nicht generell gewährleistet. Auch Adapterlösungen sind nur eine unbefriedigende Lösung, da für den Datentransfer und die Konfiguration der Logger noch sehr häufig DOS-basierte Programme verwendet werden, die einerseits exklusiv nach der COM1-Schnittstelle verlangen (was, je nach Belegung der USB-Ports, oft nicht möglich ist) bzw. solche Programme unter Windows XP keine USB-Schnittstellen ansprechen können.

Abgesehen davon ist auf modernen PCs nur mehr selten eine RS232-I/O vorhanden und bei der Verwendung von PCI-Karten zur Erweiterung stellt ebenfalls die Belegung mit COM1 ein Problem dar. Bei der Übertragung über ein GSM-Modem ist (je nach Modem) auf jeden Fall eine RS232-I/O notwendig, da nur wenige Modems USB unterstützen.

Bei der Beschaffung einer DAQ ist also auf die Verfügbarkeit einer RS232-I/O zu achten, wobei eine zusätzliche USB-Schnittstelle eine nützliche Erweiterung darstellen würde.

7.7 Zeitsynchronisation

Je nach Anwendungsbereich spielt die genaue Uhrzeit der DAQs eine wichtige Rolle, besonders dann, wenn mehrere Anemometer im Verbund zur Messung mit weiteren Sensoren (fF, T, ...) zeitlich stark variabler Phänomene (z.B. Eddie-Korrelations-Methode zur Messung des latenten und fühlbaren Wärmestroms für die Energiebilanzierung) eingesetzt werden sollen. Dabei ist die Bestimmung der absoluten Zeit nicht so wichtig wie die genaue Abstimmung der DAQs untereinander.

Wegen der guten Verfügbarkeit erscheint die Synchronisation mit dem DCF-Zeitzeichen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Maimpflingen (PTB) am sinnvollsten. Eine weitere Möglichkeit stellt die Zeitabfrage von einem Internet-Zeitserver(z.B. time.nist.gov) dar.

Eine DAQ sollte möglichst über eine externe Uhr synchronisiert werden können, z.B. bei der Datenübertragung an einen Computer mit dessen Systemzeit.

7.8 Energieversorgung

Eine DAQ für den Feldeinsatz sollte unabhängig von einer Netzanbindung betrieben werden können, Reserven müssen insbesondere bei niedrigen Umgebungstemperaturen vorhanden sein (das wird dann später für den ProLogger genauer dimensioniert). Daher ist auf eine möglichst geringe Leistungsaufnahme zu achten.

7.9 Konstruktionsmerkmale

Es ist notwendig, dass eine DAQ auch unter Feldbedingungen einsatzfähig ist. Das betrifft insbesondere den Temperaturbereich, in dem das Gerät arbeiten kann, sowie den Schutz vor Umwelteinflüssen (Niederschlag, Wind, ...). Wird die DAQ wie beim vorliegenden Aufbau in einem Schaltschrank untergebracht, ist zu beachten, dass die Temperatur in dessen Inneren im Sommer durchaus 60 °C erreichen kann. Nach unten hin sollte sich der Bereich bis mindestens -40 °C erstrecken.

In diesem Fall der Unterbringung in einem Schaltschrank genügt es auch, dass der Logger nur spritzwasserfest ist (das ist leichter zu realisieren, Kabelverbindungen wie RS232 oder Drähte an Blockklemmen gegen direkten heftigeren Niederschlag zu schützen ist ohnehin nur schwer möglich).

8 Diskussion geeigneter DAQs

Im Folgenden sollen verschiedene DAQs charakterisiert und am Anforderungsprofil (vgl. Abschnitt III) gemessen werden. Dazu werden nachfolgend drei Geräte herangezogen, die verschiedene Austattungklassen darstellen, welche vom absoluten Minimum bis zu einer großzügigen Austattung mit wünschenswerten zusätzlichen Möglichkeiten reichen.
Es sind dies: UNIDATA Starlog ProLogger, GRANT Squirrel SQ2020 2F8, DATATAKER DT80.

8.1 UNIDATA Starlog ProLogger

Alle technischen Angaben gemäß [Unidata Pty Ltd 1999].

Analoge Eingänge

Der ProLogger bietet lediglich einen halbwegs passenden, weil zu großen, Spannungsbereich. Dieser erstreckt sich von -5 bis +5 VDC. Die nominelle Auflösung kann bei jedem Kanal frei zwischen 8 und 16 bit gewählt werden. Soll der ProLogger mit dem ±2.5 VDC-Spannungsausgangs des WindMaster verwendet werden, muss die Auflösung von 16 bit verwendet werden:

Beispiel: Eingangssignal ±2.5 VDC, Auflösung 11 bit (2048 Schritte á 2.44 mV); Spannungseingang am Logger ±5 VDC, Auflösung 16 bit (65536 Schritte á 76.3 μV)

Hinweis: UNIDATA verzichtet auf die Angabe des Least Significant Bit (LSB) des A/D-Wandlers. Aufgrund unvermeidbarer Fehler bei der A/D-Wandlung (Nichtlinearität, Rauschen, Temperaturdrift, etc.) sind die Werte zwar physikalisch wie angegeben mit 16bit aufgelöst, jedoch nur auf "16−LSB"bit genau bzw. signifikant. Typischerweise liegen die Ungenauigkeiten im Bereich von 1-2 bit, dass heißt im vorliegenden Fall beträgt die effektive Auflösung des UNIDATA ProLogger im schlimmsten Fall nur mehr "16-2"bit. Bei einem Messbereich von ±5 VDC am Logger können allerdings die Spannungssignale des WindMaster noch zufriedenstellend wiedergegeben werden. Anstatt der geforderten kleinsten Schrittweite von 2.44 mV kann der ProLogger sogar (signifikante) Inkremente von 610 μV auflösen (bei angenommenen 14 bit effektive Auflösung).

Anzahl und Konfiguration der analogen Kanäle

Mit 16 single-ended bzw acht differentiellen Eingängen kann der ProLogger die Anforderungen durch den Messaufbau erfüllen, da hier nur sechs Kanäle benötigt werden. Sollte jedoch später der Messaufbau erweitert werden (z.B. mit hochauflösender Feuchte- und Temperaturmessung; Eddie-Korrelations-Methode), ist die verfügbare Anzahl der Kanäle zu gering.

Serielle Eingänge

Der ProLogger verfügt über eine RS232-Schnittstelle zur Datenübertragung von einem Sensor. Um die seriellen Ausgänge des WindMaster (RS422) nutzen zu können, ist eine Adapterlösung erforderlich. Die Versorgung einer solchen unter Feldbedingungen ist nicht möglich (siehe Abschnitt 6.3).

Desweiteren muss am Logger die Verwendung der seriellen Schnittstelle in der mitgelieferten Software "Starlog" programmiert werden, was allerdings auch ein Problem darstellt: In "Starlog v3" ist eine Belegung selbiger nicht möglich, in "Starlog v4" ist das zwar schon möglich, allerdings funktioniert bei dieser Version die Datenübertragung zum Logger nicht, die DAQ wird nicht ordnungsgemäß initialisiert und funktioniert danach nicht ordnungsgemäß. Nominell ist also eine serielle Schnittstelle vorhanden, von deren Verwendung muss aber abgesehen werden.

Abtast- uns Speicherrate

Die maximale Abtastrate des ProLogger beträgt laut Manual 8Hz. In Ermangelung genauerer Angaben muss davon ausgegangen werden, dass dies die Summenabtastrate ist, sich die maximale Abtastrate also auf die Anzahl der Kanäle aufteilt (vgl. Abschnitt 7.3). Bei Verwendung von "Starlog v3" stellt sich allerdings heraus, dass pro Kanal eine maximale Scan-Rate von 4 Hz (Intervall 250 ms) programmiert werden kann. Dass keine höheren Abtastraten als 4 Hz erreicht werden können, verbietet den Einsatz des ProLogger bei Turbulenzmessungen. Für längerfristige Messungen bietet er jedoch eine durchaus befriedigende Frequenz.

Speicherplatz

Es stehen 512 kB Speicherplatz zur Verfügung, davon sind 8 kB für die laufenden Operationen sowie die aktuelle Konfiguration fest belegt, zum Ablegen der Messwerte verbleiben also 504 kB.

Aufgrund des übergroßen Messbereiches am ProLogger (±5 VDC) muss die hohe Auflösung von 16 bit gewählt werden, was gegenüber 8 bit den Speicherbedarf pro Kanal und Parameter verdoppelt. Überträgt man dies auf den aktuellen Messaufbau, belegt ein Speichervorgang 1 2Byte, wenn ausschließlich die Rohdaten gespeichert werden sollen. Es können damit höchstens 43008 Datensätze gespeichert werden. Bei einem Logintervall von einer Sekunde entspricht das einem Aufzeichnungszeitraum von knapp 12 Stunden, bei 4 Hz verringert er sich auf knapp 3 Stunden. Das entspricht allenfalls den absoluten Mindestanforderungen.

Sollen zusätzliche Parameter aufgezeichnet werden (z.B. Maximum der Windkomponenten), müssen pro zusätzlichen Parameter weitere 2 Byte veranschlagt werden. In Hinblick auf Messprojekte ohne ständige Möglichkeit zum Auslesen der Daten (GSM nicht verfügbar, Fehlschläge

beim Auslesen, Stationen zu weit voneinander entfernt um über Kabel auszulesen, ...) ist der verfügbare Speicherplatz des ProLogger nur sehr bedingt ausreichend.

Art der gespeicherten Daten

Das Gerät ist in der Lage, die unbearbeiteten analogen Spannungssignale, die direkt an den Eingängen abgefragt werden, als solche abzuspeichern, genauer noch: Es werden ausschließlich die Rohdaten des A/D-Wandlers abgespeichert, jede weitere Interpretation erfolgt erst bei der Datenübertragung mit Starlog 3 oder SONAPP. Vom Abspeichern zusätzlicher, prozessierter Werte (AVG, MIN, MAX) ist aus Mangel an Speicherplatz abzusehen.

Datenübertragung und Schnittstellen

Zur Konfiguration und Datenübertragung an einen PC verfügt der Logger über eine RS232-Schnittstelle. Ebendiese kann auch zur Übertragung der Daten an ein GSM-Modem genutzt werden. Unterstützt werden alle gängige Baudraten bis 76800 bps inklusive der für GSM-Modems am gängigsten Rate von 9600 bps.

Zeitsynchronisation

Der ProLogger bietet keine Möglichkeit zur direkten Zeitsynchronisation, der Anschluss eines externen Taktgebers ist jedenfalls nicht möglich. Bei der Datenübertragung kann kein Zeitsignal gesendet werden, lediglich beim Programmieren des Gerätes mit einem neuen Schema ist dies möglich. Im laufenden Betrieb kommt das jedenfalls nicht in Frage, da während der Übertragung die Aufzeichnung unterbrochen werden muss, und die Gefahr einer fehlerhaften Initialisierung zu groß erscheint (was sich in praktischen Testläufen bestätigt hat).

Für die praktische Verwendung wurde daher für SONAPP ein eigenes Programmmodul zur indirekten Zeitsynchronisation entworfen und umgesetzt (siehe Abschnitt 11.2).

Energieversorgung

Der Energiebedarf der DAQ hängt von der Scan-Rate ab und davon, ob über die Ausgänge des Loggers noch zusätzliche Sensoren (z.B. NTC) betrieben werden sollen. Die DAQ verfügt über eine interne Batterie mit 10 Ah Kapazität. Laut UNIDATA berechnet sich die Lebensdauer der Batterie in Tagen wie folgt:

$$\text{Lebensdauer (Tage)} = \frac{\text{Scan-Rate}}{35} \cdot 3300 \tag{14}$$

Bei einem Scan-Intervall von 1s pro Kanal (keine Versorgung externer Sensoren) ermöglicht das eine theoretisch mögliche Aufzeichnungsdauer von 94.3 Tagen. Für längere Anwendungszeiträume wird man sinnvollerweise längere Scan-Intervalle wählen (z.B. 10 s), was wiederum

die Lebensdauer auf 2.5 Jahre ausdehnt. Für die meisten Anwendungen sollte die Energieversorgung also durchaus ausreichend sein.

Konstruktionsmerkmale und Umgebungsparameter

Der Logger ist mit einem spritzwassergeschützt Gehäuse versehen, dennoch sollte er in einem Schaltschrank untergebracht werden. Die Betriebstemperatur erreicht zwar nur selten das geforderte Maximum von 60 °C, die minimale Temperatur liegt allerdings bei nur -20 °C. Diese Untergrenze kann besonders bei Messungen in höheren Lagen sowie im Winter durchaus unterschritten werden. Eine Heizung ist nicht anzudenken: Der Energiebedarf wäre um ein Vielfaches zu groß.

Weitere Leistungsmerkmale

Der ProLogger bietet die Möglichkeit, über seine interne Batterie externe Sensoren zu versorgen. Das macht insbesondere für passive Sensoren wie PTC, NTC und Thermopiles Sinn. Solche Sensoren müssen nicht permanent mit Spannung versorgt werden, es genügt, sie kurz vor jedem Scan zu aktivieren, damit sie sich stabilisieren können. Nach Abfrage des Wertes kann die Energieversorgung wieder unterbrochen werden. Dabei darf die Stromaufnahme des Sensors nicht größer als 2 0mA sein. Zur Turbulenzmessung eignet sich dieses Prinzip jedenfalls nicht: Die übliche Zeit zur Stabilisierung beträgt in etwa 50 ms, danach kann erst der Wert abgefragt werden. Bei Scan-Raten von bis zu 20 Hz kommt dies einem Dauerbetrieb gleich, der mit der vorhanden Energieversorgung nicht machbar ist.

Beispiel: Für einen NTC mit R(25 °C)≈100kΩ und 5 VDC Versorgungsspannung ist diese Bedingung leicht erfüllt, der Strom beträgt lediglich 0.05 mA. Die Versorgung externer Sensoren verringert natürlich die Lebensdauer der Batterie, allerdings ist die Leistungsaufnahme eines NTC mit ungefähr 0.25 mW sehr gering.

Resümee

Die Anzahl der Kanäle ist ausreichend, um die gesamte Sensorik aufzunehmen, von allfälligen Erweiterungen muss allerdings Abstand genommen werden, da zwei freie Kanäle für die meiste zusätzliche Sensorik (z.B. Lyman-Alpha-Hygrometer) nicht ausreichen sein wird, bestenfalls ein zusätzlicher Temperatursensor (z.B. Pt100) kann aufgenommen werden, der aber allenfalls für die Messung von Turbulenz verwendet würde.

Die Abtastrate reicht gerade aus, um den geringsten Ausgaberaten des WindMaster gerecht zu werden, zeitlich hochaufgelöste Messungen mit bis zu 20 Hz, wie sie prinzipiell mit dem

Ultraschall-Anemometer möglich wären, können nicht realisiert werden. Besonders die Verwendung der seriellen I/O wäre hier von Vorteil, jedoch ist dazu eine zusätzliche (nicht unerhebliche) Energieversorgung vorzusehen.

Wesentlich problematischer ist hingegen der geringe Speicherplatz, mit dem längere Messungen (z.B. eine Nacht hindurch) bei höchstmöglicher zeitlicher Auflösung unmöglich sind.

Pluspunkte können bei der internen Energieversorgung gesammelt werden. Diese ermöglicht einen autarken Betrieb der DAQ über einen erfreulich langen Zeitraum von bis zu 94 Tagen. Einschränkend jedoch kann auch die im Vergleich zu anderen DAQs relativ hohe minimale Betriebstemperatur von -20 °C wirken, die besonders im Winter und bei Messung in höheren Lagen unterschritten werden wird.

Fazit: Der UNIDATA Starlog ProLogger kann als absolute Mindestanforderung an eine DAQ für den verwendeten Messaufbau verstanden werden. Mit noch geringerem Leistungsumfang würde der Betrieb des WindMaster keinen Sinn machen. Allerdings kann mit diesem Gerät der Aufbau keinesfalls zur Turbulenzmessung eingesetzt werden, die Anforderungen (v.A. Speicherplatz und Abtastrate) liegen um ein Vielfaches höher. Für Langzeitmessungen mit für die Meteorologie auf der synoptischen Skala üblichen Scanraten (10 Minuten) können mit dem ProLogger auf dem günstigsten Weg realisiert werden, mit einem herkömmlichen (und weitaus billigeren) Anemometer allerdings ebensogut.

8.2 GRANT Squirrel SQ2020

Alle technischen Angaben gemäß [Grant Instruments 2008] und [Grant Instruments 2006].

Analoge Eingänge

Von den zehn programmierbaren Spannungsbereichen, die der SQ2020 bietet, ist besonders der Bereich ±3 VDC gut geeignet: Er erstreckt sich über den gesamten vom WindMaster abgedeckten Bereich und liefert noch sowohl in negative als auch positive Richtung Reserven, um eventuelle Drift- und Offsetspannungen erkennen zu können und Übersteuerungen zu verhindern.

Die Auflösung kann nicht beeinflusst werden, sie ist auf 24bit festgelegt. Über den Spannungsbereich vom ±3 VDC ergibt das eine Schrittweite von 0.36 μA. Das übertrifft die mindeste Auflösung (11bit am WindMaster; Schrittweite 2.44 mA) um Längen. Selbst wenn die effektive Auflösung darunterliegt (auf eine Angabe des LSB wurde seitens GRANT verzichtet), reicht sie auf jeden Fall aus, um die Auflösung des WindMaster unverfälscht wiederzugeben.

Anzahl und Konfiguration der analogen Kanäle

Die Eingangssektion des Squirrel ist in 4 Blöcke zu je 4 single-ended bzw. 2 differentiellen Eingängen unterteilt. Jeder Block kann für sich single-ended oder mit differentiellen Eingängen beschaltet werden. Diese Konfiguration erlaubt es, verschiedene Beschaltungen zu mischen. Je nach Anwendung kann dies verwendet werden, um die verfügbare Kanahlzahl zu erhöhen, indem Sensoren, die auf gleichem Nullpotenzial liegen (z.B. WindMaster UVW), jeweils single-ended auf einen Block zusammengefasst werden. Nicht jeder Kanal belegt dann 2 Eingänge wie bei differentiellen Inputs.

Im einfachsten Fall würde der SQ2020 acht differentielle Eingänge bereitstellen und damit das geforderte Mindestmaß von sechs Kanälen erfüllen. Im Falle einer Erweiterung stehen aufgrund der flexiblen Kanalverwaltung genügend Eingänge bereit.

Serielle Eingänge

Es stehen zwei RS232-I/Os mit insgesamt 4 Kanälen bereit. Die zeitliche Auflösung reicht bei zwei der vier Kanäle bis 100 Hz, bei den anderen beiden sogar bis 64 kHz. Die geforderten 10-20 Hz werden also mit Leichtigkeit erreicht. Eine Verwendung ist aber wegen der mangelnden Energieversorgung für eine Adapterlösung nicht möglich (siehe Abschnitt 6.3).

Abtast- uns Speicherrate

Die Inputs des Squirrel sind in 4 Blöcke unterteilt. Jeweils zwei der Blöcke verfügen über einen eigenen A/D-Wandler mit einer Summenabtastrate von je 10 Hz. Wird der integrierte Tiefpass zur Unterdrückung von Netzbrummen (mains rejection; -100 dB bei 50 Hz) deaktiviert, ist nunmehr eine Summenabtastrate von 20 Hz pro ADC möglich. Pro 4 differentielle Eingänge (=2 Blöcke) kann also höchstens 20 Mal in der Sekunde ein Wert abgefragt werden. Nicht belegte Kanäle werden nicht abgefragt und vermindern daher auch die Abtastrate nicht. Dabei ist es möglich, unterschiedliche Kanäle unterschiedlich oft abzufragen. Besonders nur langsam veränderliche Werte wie Temperatur (nicht hochaufgelöst wie zur Turbulenzmessung) brauchen dann nicht ebenso oft abgefragt werden wie schnell fluktuierende Werte (z.B. Wind UVW). Es verbleiben damit mehr Abtastvorgänge für die schnellen Kanäle. Der Squirrel bietet dafür fertig vorkonfigurierte Zusammenstellung von Abtastraten an verschiedenen Kanälen.

Beispiel: Konfiguration an A/D-Wandler 1: U und V mit jeweils 10Hz; Konfiguration an A/D-Wandler 2: W mit 10 Hz, T(NTC) mit 5 Hz, U_{Ref} und U_{Batt} mit jeweils 1 Hz, es verbleiben noch zwei Kanäle mit 1 Hz. Der GRANT SQ2020 2F8 kann die hohe Datenrate von 10 Hz des WindMaster aufnehmen und ebenso schnell speichern, er ist damit durchaus für die Messung atmosphärischer (isotroper) Turbulenz geeignet.

Speicherplatz

Der interne effektive Speicher für Daten ist 16 MB groß. Aufgrund der hohen Auflösung von 24 bit benötigt jeder einzelner Parameter 3 Byte Speicher (8 bit=1 Byte). Für eine überschlagsmäßige Abschätzung der maximalen Aufzeichungszeit wird die unter Abschnitt 8.2 vorgeschlagene Konfiguration herangezogen. Demnach werden die drei Parameter UVW zehnmal, die Temperatur zweimal sowie U_{Ref} und U_{Batt} jeweils einmal pro Sekunde aufgezeichnet. Pro Sekunde ergibt das einen Speicherbedarf von 102 Byte. Aufgrund des relativ großen internen Speichers reicht diese Speichermenge für ungefähr 1.9 Tage.

Darüber hinaus können die Daten aus dem internen Speicher auf eine Speicherkarte mit maximal 256MB übertragen werden, was die Aufzeichungsdauer auf 32 Tage ausdehnt. Zu bemerken bleibt allerdings, dass die Daten auf der Speicherkarte nicht mehr direkt über den Squirrel ausgelesen werden können, auch nicht über GSM, dafür muss dann ein Computer mit Kartenleser bemüht werden. Nichtsdestotrotz ist die Speicherkapazität auch ohne mögliche Erweiterungen durch Speicherkarten für die angestrebten Anwendungen mehr als ausreichend.

Art der gespeicherten Daten

Rohdaten können in vollem Umfang abgelegt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, 16 virtuelle Kanäle hinzuzufügen, die synthetische Daten, berechnet aus Messwerten und mit Formeln und Skalierungsfunktionen, speichern. Angesichts des zusätzlichen Speicherbedarfs ist dies jedoch einzig dann sinnvoll, wenn in relativ kurzen Intervallen die Daten ausgelesen werden können. Würden nämlich zum Beispiel für die Kanäle U, V, W sowie die Temperatur die Spannungssignale (Rohdaten) zusätzlich direkt in die Einheiten [m/s] und [°C] umgerechnet, würde dies die Aufnahmezeit auf nicht ganz einen Tag (mehr als 16 Tage mit 256 MB-Speicherkarte) verkürzen.

Datenübertragung und Schnittstellen

Der Squirrel unterstützt alle gängigen Baudraten bis maximal 115000bps inklusive 9600bps für die Übertragung an/über ein GSM-Modem mithilfe einer RS232-I/O.

Zeitsynchronisation

Die Zeitsynchronisation ist leicht über die RS232-Schnittstelle z.B. über ein GSM-Modem möglich. Dabei wird schlichtweg die Uhrzeit des Host-PC als neue Uhrzeit am Logger gesetzt.

Energieversorgung

Die Versorgung ist entweder über eine externe Spannungsquelle mit 10-18 VDC oder über sechs Zellen vom Typ AA/LR6 möglich, die Betriebsspannung liegt dann bei 9 VDC. Die Stromaufnahme liegt bei 85 mA. Nimmt man die Kapazität einer typischen LR6 mit 2800 mAh an, ergibt das im Dauerbetrieb eine Lebensdauer von etwas mehr als acht Tagen. Das sollte für die meisten Anwendungen ausreichend sein. Problematischer ist die Situation bei niedrigen Temperaturen, da die Kapazität der LR6 dann rapide absinkt, eine externe Spannungsversorgung wäre zu überlegen. Dafür kämen unter anderem externe Akkumulatoren (siehe z.B. Abschnitt 6.4) in Frage, die den Messzeitraum erheblich ausdehnen könnten.

Konstruktionsmerkmale und Umgebungsparameter

Das Gerät ist nicht wasserdicht und/oder spritzwassergeschützt, GRANT bietet aber ein entsprechendes Gehäuse an. Die Umgebungstemperatur sollte zwischen -35 und +65 °C liegen, insbesondere das Maximum wird praktisch immer ausreichend sein, auch das Minimum sollte nur sehr selten limitierend wirken.

Weitere Leistungsmerkmale

Genauso wie der UNIDATA ProLogger bietet der GRANT SQ2020 die Möglichkeit, externe Sensoren (PTC, NTC, Thermopiles, ...) über die internen Batterien zu versorgen, ebenso, die Sensoren bereits kurz vor dem Scan zu aktivieren, damit sich diese stabilisieren können. Bei derartig hohen Scangeschwindigkeiten würde dies allerdings die Lebensdauer der internen Energieversorgung erheblich einschränken, es wäre also davon abzusehen.

Ein sehr bequemes Feature ist die Bereitstellung mehrerer Betriebs-Schemata im Gerät: Bis zu sechs fertige Schemata könne parallel zu dem gerade aktiven im Gerät gespeichert bleiben und direkt an der DAQ über deren Tasten aktiviert werden. Das ermöglicht einen einfachen Wechsel zwischen vorkonfigurierbaren Betriebszuständen (z.B. Turbulenzmessung, Langzeitmessung mit geringeren Scan-Raten, keine Aufzeichnung, nur Böenwarnung, ...), ohne dass jedes Mal ein PC dazu benötigt würde.

Resümee

Der Squirrel SQ2020 2F8 kann die gesamte vorgesehene Sensorik aufnehmen, es sind noch freie Eingänge für spätere Erweiterungen (insbesondere hochfrequente Temperaturmessung) vorhanden. Die Spannungsbereiche sind praxistauglich dimensioniert und erlauben eine gute Kontrolle der Messungen. Positiv zu bemerken ist, dass die Windgeschwindigkeit mit bis zu 10 Hz aufgezeichnet werden kann, was gegenüber dem UNIDATA ProLogger die hochaufgelöste Messung von Turbulenz erst sinnvoll erscheinen lässt. Auch die physikalische Auflösung ermöglicht eine

hohe Genauigkeit der Messwerte. Auf die Verwendung der seriellen Schnittstelle muss allerdings auch hier verzichtet werden.

Mit geringem Zusatzaufwand kann auch für die Energieversorgung eine Lösung für längere Messkampagnen realisiert werden, für kürzere Zeiträume reichen auf jeden Fall die internen Zellen.

Fazit: Der GRANT Squirrel SQ2020 2F8 ist eine vernünftige Lösung, um die Möglichkeiten, die das WindMaster Ultraschall-Anemometer bietet, annähernd auszuschöpfen, die Messung von isotroper Turbulenz wird mit dieser DAQ möglich sein. Jedoch bleiben auch hier manche wünschenswerte Erweiterungen (v.A. RS422 und damit noch höhere Abtastraten) unerfüllt.

8.3 DATATAKER DT80

Alle technischen Angaben stammen aus [Datataker Pty Ltd 2008].

Analoge Eingänge

Der Messbereich erstreckt sich über ±3 VDC bei einer (festgelegten) effektiven Auflösung von nahezu 18 bit (240,000 Schritte á 25 μV). Soll der DT80 mit den analogen Ausgänge des WindMaster bei 11bit verwendet werden, kann er das Signal wesentlich höher auflösen als unbedingt erforderlich.

Der Messbereich ist gut geeignet, um die gesamte Dynamik der Sensoren aufzunehmen. Darüber hinaus bietet der etwas erweiterte Messbereich die Möglichkeit, eventuelle Drift sowie Offset-Spannungen und Übersteuerungen festzustellen.

Anzahl und Konfiguration der analogen Kanäle

Der DT80 bietet 15 single-ended (mit einem gemeinsamen Ground-Terminal) bzw. sieben differentielle Spannungs-/Stromeingänge. Dementsprechend sind genügend Eingänge vorhanden, um die Sensorik in vollem Umfang (U, V, W, U_{NTC}, U_{Ref}, U_{Bat}) abfragen zu können.

Um eventuellen Erweiterungen der Sensorik in der Zukunft Rechnung zu tragen, können single-ended und differentielle Beschaltung gemischt werden. So erscheint es zum Beispiel sinnvoll, die drei Windkomponenten U, V und W sowie U_{Bat} auf ein gemeinsames Nullpotential an der DAQ zusammenzulegen, da hier ohnehin keine unterschiedlichen Potentiale zwischen den drei Komponenten zu erwarten sind, da diese alle direkt am WindMaster anliegen. Für diese Parameter wären nicht unbedingt differentielle Eingänge notwendig. Durch diese Maßnahmen

könnten zwei zusätzliche differentielle Eingänge bereitgestellt werden, es blieben also noch vier single-ended bzw. zwei differentielle Eingänge für spätere Erweiterungen übrig.

Serielle Eingänge

Als eine der ganz wenigen DAQs für den stand-alone-Betrieb verfügt der DATATAKER DT80 über eine serielle RS422-Schnittstelle. Gegenüber der RS232-Schnittstelle an den meisten anderen Loggern ist hier keine zusätzliche Spannungsversorgung notwendig, was den Betrieb der seriellen Verbindung auch unter Feldbedingungen (das betrifft insbesondere die Energieversorgung) ermöglicht. Somit kann der volle Datenumfang der drei Windkomponenten bei der maximalen Ausgaberate des WindMaster von 20 Hz abgetastet und gespeichert werden. Darüber hinaus bietet sich nun an, auch die weiteren verfügbaren Werte des Ultraschallanemometers, insbesondere die aus der Schallgeschwindigkeit berechnete Temperatur (sonic temperature), aufzuzeichnen.

Abtast- uns Speicherrate

Da der DT80 über eine für den vorliegenden Aufbau geeignete serielle Schnittstelle verfügt, muss hier zwischen den analogen und seriellen Eingängen unterschieden werden: Ähnlich dem GRANT Squirrel SQ2020 verfügt auch der DT80 über einen integrierten Tiefpassfilter, um Einstreuung aus Energieversorgungen (50/60 Hz) entgegenzuwirken. Dadurch ist sinnvollerweise die Summenabtastrate auf 25 Hz beschränkt, höhere Frequenzen würden bereits durch den Filter bedämpft werden, da die Abschwächung bei 50 Hz schon -35 dB beträgt. Durch die Anzahl der abzutastenden Kanäle (6) ist somit die maximale Rate pro Kanal auf 4 Hz limitiert. In den meisten Fällen wird dies ausreichend sein. Kann bei der Messung auf den Tiefpassfilter verzichtet werden, was insbesondere aufgrund der Energieversorgung mit Akkumulatoren gegeben ist, kann der Filter deaktiviert werden, die maximale Summenabtastrate erhöht sich dann auf 70 Hz. Bei der Belegung von sechs analogen Kanälen ergibt das pro Kanal eine maximale Samplingrate von 10 Hz (die rechnerisch maximale Rate von 11.6 Hz kann nicht verwendet werden, da diese vom WindMaster nicht unterstützt wird).

Bei der Verwendung der seriellen Schnittstelle muss der Multiplexer, der zwischen den analogen Eingängen umschaltet, nicht bemüht zu werden, es sind wesentlich höhere Raten realisierbar. Maßgeblich für die höchstmögliche Datenrate ist hierbei die Baudrate. Der DT80 unterstützt alle Raten, die vom WindMaster geboten werden, also bis inklusive 115,200 bps. Damit ist sichergestellt, dass der Logger auch die höchste Ausgaberate von 20 Hz unterstützt.

Wegen der vorhanden seriellen Schnittstelle ist es nun nicht mehr notwendig, alle sechs Parameter mit analogen Kanälen zu belegen. Dementsprechend verbleiben nurmehr drei Größen (U_{NTC}, U_{Ref}, U_{Bat}), auf die sich die Summenabtastrate aufteilt. Daher sind Raten von bis zu

20Hz auf diesen Kanälen ohne Weiteres realisierbar.

Der DATATAKER DT80 ist somit uneingeschränkt für die hochauflösende Turbulenzmessung einsetzbar.

Speicherplatz

Der effektiv verwendbare Speicher dieser DAQ ist 64 MB groß. Durch die recht hohe Auflösung von 18 bit belegt ein vollständiger Datensatz pro Abfrage rund 13.5 Byte (ein einzelner Parameter schlägt sich mit 18 bit=2.25 Byte zu Buche). Das ermöglicht die Aufzeichnung von nahezu fünf Millionen Datensätzen. Wird die Abtastrate mit 1 Hz festgelegt, bedeutet das eine höchstmögliche Aufzeichnungsdauer von mehr als 57 Tagen, bei der sehr hohen zeitlichen Auflösung von 10 Hz beträgt sie immerhin noch fast sechs Tage, bei 20 Hz dementsprechend fast drei.

Der DT80 stellt außerdem die Möglichkeit bereit, zusätzlich zum internen Speicher noch einen USB-Stick anzuschließen, es werden sowohl USB 1.1- als auch USB 2.0-Typen unterstützt. Bei der Verwendung eines 1 GB-USB-Sticks ließe sich die Aufzeichnungsdauer bei 20 Hz Samplingrate auf bis zu 46 Tage ausdehnen. Selbst ohne einen USB-Stick zu verwenden, würde die Speichermenge für die angestrebten Anwendungen jedenfalls ausreichen.

Art der gespeicherten Daten

Der Forderung nach Aufzeichnung der Rohdaten in vollem Umfang wird hier Rechnung getragen. Ebenfalls ist es möglich, synthetische Kanäle hinzuzufügen, die aus den Rohdaten mithilfe vieler integrierter Funktionen und Formeln berechnet werden können. Wie bereits unter Abschnitt 7.5 erwähnt, erscheint die Verwendung derselben jedoch nicht sinnvoll. Dazu kommt noch, dass durch den zusätzlichen Speicherbedarf der synthetischen Kanäle die Aufzeichnungsdauer verringert würde.

Datenübertragung und Schnittstellen

Zur Kommunikation mit einem PC und zur Datenübertragung stehen eine Reihe von Möglichkeiten zur Auswahl. Der DT80 verfügt über die übliche RS232-Schnittstelle, die auch zum Datenaustausch mit einem GSM-Modem dient, außerdem über einen USB 1.1-Port. Desweiteren können Daten über Ethernet übertragen werden, dabei werden alle gängigen Protokolle unterstützt [TCP/IP (UDP, FTP, HTTP, Modbus)]. Die möglichen Baudraten erstrecken sich von 300 bis 115,200 bps und garantieren damit bestmögliche Kompatibilität.

Zeitsynchronisation

Ebenso wie beim Squirrel SQ2020 ist die Zeitsynchronisation leicht über die RS232-Schnittstelle z.B. über ein GSM-Modem möglich. Dabei wird schlichtweg die Uhrzeit des Host-PC als neue Uhrzeit am Logger gesetzt.

Energieversorgung

Die Stromaufnahme liegt während der Messung bei ungefähr 330 mA. Aufgrund der hohen Samplingraten ist von einem permanenten Betrieb auszugehen. Mit der internen Batterie mit einer Kapazität von 1.2 Ah ist damit der Betrieb gerade einmal für 3.5 h gesichert. Das ist für den Feldeinsatz völlig unzulänglich. Mit einer externen Spannungsversorgung (z.B. Hochleistungs-NiCd-Akku, 12 V, 36 Ah) könnte der Betrieb auf immerhin 4.5 Tage ausgedehnt werden. Das inkludiert jedoch keine Reserven bei besonders hohen oder niedrigen Temperaturen, die die Lebensdauer eines Akkus empfindlich reduzieren können. Um den DT80 über längere Zeit betreiben zu können, muss eine Netzversorgung vorgesehen werden.

Konstruktionsmerkmale und Umgebungsparameter

Das Gehäuse des DT80 ist weder wasserdicht noch spritzwasserfest, ein dementsprechendes Gehäuse wird von Hersteller nicht angeboten. Die Unterbringung ein einem geschützten Schaltschrank ist unabdingbar, Kondensation muss unbedingt vermieden werden. Der zulässige Temperaturbereich für zuverlässige Funktion erstreckt sich von -45 °C bis +70 °C. Das Maximum wird praktisch nie überschritten werden, selbst wenn das Gerät in einem sonnenbestrahlten Behältnis untergebracht würde. Auch das Minimum wird in den allerwenigsten Fällen unterschritten werden, sehr viel eher wird die nachlassende Kapazität der Batterien zur Spannungsversorgung einschränkend sein.

Weitere Leistungsmerkmale

Ähnlich wie mit den beiden anderen DAQs ist es möglich, eine Vielzahl von unterstützen Sensoren (z.B. Thermocouples Typen B, C, D, E, G, J, K, N, R, S, T; Pt10, Pt100; NTC Typ YSI 400xxx; ...) direkt an die analogen Eingänge anzuschließen, die Energieversorgung kann dann direkt vom Logger bereitgestellt werden. Weitere Standardfunktionen wie Alarme, Open-Collector-Output etc. sind verfügbar.

Resümee

Der DT80 bietet alle Ausstattungsmerkmale, um einen optimalen Betrieb des Ultraschall-Anemometers zu ermöglichen: Eine hohe Kanalanzahl, mehr als ausreichende Auflösung, hohe Abtastraten

und einen großen Speicher für lange Messzeiträume. Als besonderes Highlight sei die RS422-Schnittstelle hervorgehoben, die die Verwendung der seriellen Ausgänge des WindMaster ohne einen Adapter und eine zusätzliche Energieversorgung ermöglicht, keiner der anderen hier vorgestellten DAQs bietet diese Möglichkeit. Erst damit kann maximale Samplingrate von 20 Hz des Anemometers aufgenommen werden. Auch der Speicherplatz ist ausreichend, um diese hohe Datenrate über einen längeren Zeitraum zu speichern.

Problematisch im Vergleich zu den anderen Kandidaten ist der doch recht hohe Stromverbrauch. Insbesondere längere Messzeiträumen (>4.5 d) sind ohne Netzanbindung nicht möglich.

Fazit: Abgesehen von eventuellen Problemen bei der Energieversorgung ist der DATATAKER DT80 bestens für die hochauflösende Turbulenzmessung geeignet und stellt hier die absolute Wunschlösung dar.

8.4 Fazit

Der Vergleich zeigt sehr deutlich die unterschiedlichen Eignung der hier vorgestellten Datalogger:

Der UNIDATA ProLogger entspricht den absoluten Mindestanforderungen, mit noch geringerem Leistungsumfang würde besser auf das teure Ultraschall-Anemometer verzichtet und stattdessen ein deutlich billigeres Schalenkreuz- oder Propelleranemometer angeschafft. Turbulenzmessungen sind hiermit allerdings bei Weitem nicht realisierbar, da die geforderten hohen Abtastraten nicht erreicht werden, sowie der verfügbare Speicherplatz nicht ausreichen erscheint. Jedoch der wird Betrieb für Messungen auf der synoptischen Zeitskala ermöglicht, womit der Einsatz für Langzeit- oder Routinemessungen realisierbar ist.

Der GRANT Squirrel SQ2020 2F8 dagegen ist dem ProLogger deutlich überlegen, was Abtastraten, Speicherplatz und verfügbare Eingangskanäle anbelangt, Messungen der isotropen Turbulenz wären mit diesem Gerät durchaus möglich. Die extrem hohen Abtastraten von bis zu 20 Hz werden zwar auch hier nicht erreicht, jedoch sollte der Funktionsumfang abseits der Grundlagenforschung, die besonders hohe Systemanforderungen stellt, für die meisten Aufgaben ausreichend sein.

Die absolute Wunschlösung stellt der DATATAKER DT80 dar, der mit seinem großen Speicherplatz, den hohen Abtastraten und der passenden seriellen Schnittstelle (RS422) perfekt gerüstet ist, um die Möglichkeiten der GILL INSTRUMENTS WindMaster voll auszureizen und damit die Investition in die teuren Ultraschallanemometer zu rechtfertigen.

Der Vollständigkeit halber soll auch nicht unerwähnt bleiben, dass weitere DAQs von anderen

Herstellern in Betracht gezogen wurden, diese allerdings entweder den Mindestanforderungen bei Weitem nicht entsprechen (OTT LogoSens, DATAQ 710, ACUMEN DataBridge, DATATAKER DT500/600, GEOPRECISION iLogger), praktisch gleichwertig mit den bereits besprochenen Loggern sind (CAMPBELL SCIENTIFIC CR3000) oder zu komplexe und umfangreiche Systeme darstellen (NATIONAL INSTRUMENTS xDAQ), um ernsthaft in Betracht gezogen werden zu können ([Grant Instruments 2005], [Campbell Scientific, Inc. 2006a], [Campbell Scientific, Inc. 2006b], [Acumen Instruments Corporation 2004], [DataAq Instruments, Inc. 2006]).

Tabelle 1: Zusammenfassende Übersicht der Eignung der DAQs in den wesentlichen Leistungskategorien gemäß Kapitel 8 (-: nicht ausreichend, •: ausreichend, +: Mindestanforderung übertroffen, ∗: hervorragende Eignung). Die Preise verstehen sich als UVP zum Zeitpunkt der Drucklegung.

Kriterium	**ProLogger**	**SQ2020 2F8**	**DT80**
Anzahl d. analogen Eingänge	•	+	+
Spannungsbereich d. analogen Eingänge	•	+	+
Auflösung d. analogen Eingänge	+	∗	∗
Abtastrate d. analogen Eingänge	•	+	∗
Speicherplatz	•	+	∗
Serielle Schnittstelle	-	-	•
Energieversorgung	∗	+	•
Preis (ca. EUR)	1300.-	2700.-	1900.-

Teil IV

SONAPP

9 Überblick

9.1 Intention und Zielsetzung

Auschlaggebend für die Entwicklung von SONAPP ist die Grundsituation, dass die vier mobilen Messstationen des IMGW, die jeweils ein GILL INSTRUMENTS WindMaster Ultraschallanemometer beinhalten, nur bedingt für die Durchführung von längeren Messaufgaben geeignet sind. Die prinzipiell hohe Datenrate des WindMaster, die selbst im langsamsten Ausgabemodus immerhin 1 Hz beträgt, kombiniert mit dem eher dürftigen Speicherplatz des ProLoggers, der im besten Fall knapp 512 kByte beträgt, führen dazu, dass die Daten der Stationen sehr häufig übertragen werden müssen. Kommt zu diesem Zweck die mitgelieferte Originalsoftware "Starlog 3" vom UNIDATA zum Einsatz, müssen die Messorte regelmäßig besucht werden, da die Software nur nominell den Datentransfer mittels GSM beherrscht. Tatsächlich ist mit diesem Programm eine Abfrage der Daten ausschließlich mithilfe eines seriellen Kabels von PC zu Logger möglich, selbst bei dessen Verwendung bricht die Verbindung manchmal ab, insbesondere dann, wenn relativ zur Speichergröße des Datenloggers große Datenmengen übertragen werden sollen. Besser funktioniert dies mithilfe der von der Firma KRONEIS produzierten Software, allerdings funktioniert GSM auch hierbei lediglich am Papier. Unter der Annahme, dass das von der Firma KRONEIS mitgelieferte Schema "WIMA" bzw. in der modifizierten Variante "COPS" zum Einsatz kommt, und nicht nur die 10-minütigen Mittelwerte aufgezeichnet werden sollen, sondern zumindest die 1-sekündigen Werte, dann reicht der Loggerspeicher für knapp acht Stunden. Berücksichtigt man, dass die Messorte unter Umstände in mehreren Kilometern Umkreis positioniert sind, ist leicht zu erkennen, wie hoch der ständige Betreuungsaufwand für vier Stationen einzustufen ist, wenn systematischer Datenverlust ausgeschlossen werden soll. Unter diesen Umständen fällt nicht einmal mehr besonders ins Gewicht, dass es praktisch unmöglich ist, aktuelle, beinahe-Echtzeitdaten zur Verfügung zu haben, z.B. zum Abhalten von Wetterbesprechungen oder der unmittelbaren Analyse beobachteter Wetterereignisse.

Die Intention zur Entwicklung von SONAPP rührt aus der Einsicht, dass der obengenannte, eingeschränkte Funktionsumfang zu korrigieren, d.h. eine Optimierung des Betrieb der Messstationen notwendig sei. Damit sollte es in weiterer Folge möglich sein, längere und/oder räumlich getrennte Messaufgaben mit einem Minimum an Personal-, Material- und Zeitaufwand bewältigen zu können, und gleichzeitig stets über aktuelle Messdaten zu verfügen. Außerdem sollte nunmehr, den Leistungsmerkmalen der UNIDATA ProLogger entsprechend, den Möglichkeiten der Ultraschallanemometer (Abschnitt 6) Rechnung getragen und deren Fähigkei-

ten im Betrieb ausgereizt werden. Des Weiteren erschien es in diesem Zusammenhang sinnvoll, die Schnittstelle der Daten, d.h. Visualisierung und Export von Zeitreihen, in das Programmkonzept mit einzubinden und zu optimieren.

9.2 Konzeption

Ausgehend von den im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Mindestanforderungen wurde im Vorfeld der Entwicklung ein Lastenheft für SONAPP erstellt, das im weiteren Verlauf um einige notwendig oder sinnvoll erscheinende Merkmale erweitert wurde. Die wesentlichen Eckpunkte des endgültigen Konzepts sind nachfolgend aufgelistet:

1. Optimierung der Datenübertragung via RS232-Kabel
2. Datenübertragung via GSM
3. Interpretation der übertragenen Rohdaten
4. Schematische Topographiedarstellung der Messorte
5. Automatische Abfrage der Stationen, durch Zeitplan festgelegt
6. Zeitsynchronisation aller Stationen mit Host-PC
7. Zentrale Verwaltung der Rohdaten sämtlicher Messanordnungen
8. Visualisierung der Messdaten
9. Ausgabe der aktuellsten Datensätze als Windrose
10. Export von Zeitreihen beliebiger Stationen in individueller Zusammenstellung in gängige Dateiformate

Alle diese Funktionen und Anforderungen wurden in SONAPP integriert, womit der optimierte Betrieb des Messnetztes sichergestellt wird. Abgesehen davon war es während der Entwicklung notwendig, anfangs eingeplante Funktionen fallen zu lassen, da diese entweder nicht realisierbar erschienen oder aber den Zeitrahmen für die Durchführung des Projekts gesprengt hätten. Betroffen davon waren vor Allem folgende Inhalte:

1. **Export der Messwerte in das Datenbankformat netCDF**
   netCDF (network Common Data Form) ist ein Sammlung von Plattform-unabhängigen Software-Modulen zur Erstellung, Bereitstellung und für den Zugriff auf wissenschaftliche Daten. Dieses Format findet neuerdings immer häufiger Anwendung bei einer Vielzahl wissenschaftlichen Organisationen (NOAA, NASA, OceanSITES.org, National Snow and

Ice Data Center, AVISO (satellite data), etc.) [UNIDATA 2008] und wird auch auf internationalen Messkampagnen zum Datenaustausch benutzt. Es wäre daher wünschenswert gewesen, auch in dieses Format exportieren zu können. Allerdings ist netCDF ein derart komplexes und aufwändiges Konzept, dass dessen Einbindung den zeitlichen Rahmen bei Weitem überstiegen hätte.

2. **Export in *.xls-Dateien**
   Der Export von Daten direkt in .xls-Dateien wurde ausgelassen, da nicht endgültig entschieden werden konnte, mit welcher Version von Microsoft Excel die Dateien kompatibel sein sollten, da hier immer wieder Probleme zwischen unterschiedlichen Versionen entstehen. Stattdessen können die mit SONAPP erstellten *.csv bzw. *.txt-Dateien direkt mit Excel geöffnet werden.

3. **Import von Download-Dateien, die mit Starlog 3 generiert wurden**
   Es wäre wünschenswert gewesen, historische Messreihen, die vor der Fertigstellung von SONAPP mit Starlog 3 erzeugt wurden, in SONAPP importieren zu können und dessen Visualisierungs- und Export-Module verwenden zu können. Leider zeigte sich der Hersteller der ProLogger äußert unwillig und nicht kooperativ beim Support, sodass keine Informationen vorliegen, in welchem Binärformat die Daten von Starlog 3 abgelegt werden. Daher war es leider unmöglich, ein Import-Modul für SONAPP zu entwickeln.

10 Betriebsanleitung und Erläuterung der Funktionen

SONAPP ist in vier Hauptmodule gegliedert, deren Funktionsweise und Bedienung im Folgenden genau erläutert werden soll. Es sei darauf hingewiesen, dass die gesamte Programmoberfläche und Bedienungsführung von SONAPP in englischer Sprache gestaltet wurde, was beim Einsatz des Messnetzes bei Messkampagnen mit internationalen Teilnehmern auch Personen, deren Muttersprache nicht Deutsch ist, die Bedienung und Überwachung der Software ermöglichen soll.

10.1 Hauptfenster

Dieses Modul stellt die Schaltzentrale von SONAPP dar: Sämtliche andere Module und Funktionen (Setup, Darstellung und Export von Messdaten, Download der Datalogger, etc.) werden von hier aus gestartet beziehungsweise initialisiert.

Darstellung der Topographie des Messgebietes

Die linke Hälfte des Programmfensters wird von der schematischen Darstellung der Topographie des Messgebietes in Lambda-Phi-Projektion eingenommen. Diese dient zur überblicksmäßigen

Visualisierung der geographischen Lage der Stationen, damit die aufgezeichneten Messdaten schneller und einfacher interpretiert werden können. So ist etwa aus der Darstellung sofort ersichtlich, ob sich eine Messstation auf einem Nord- oder Südhang, auf einem Gipfel oder Hügel beziehungsweise in einem Tal oder Nebental befindet. Zur leichteren Abschätzung der Seehöhe ist der Oberflächenplot zusätzlich durch eine Farbskala gekennzeichnet. Durch Klicken und Ziehen auf die Zeichnungsfläche kann der Blickwinkel auf die Topographiedarstellung frei verändert werden, zusätzliches Gedrückt-Halten der Shift-Taste aktiviert das Verschieben der Darstellung. Wird eine Maus mit Scrollrad verwendet, kann die Landkarte stufenlos heran- (Mausrad hinunter) bzw. weggezoomt (Mausrad nach oben) werden.

Dem Plot liegen von Mag.Dr. Spreitzhofer[1] korrigierte beziehungsweise ergänzte, ursprünglich frei verfügbare GIS-Daten in 100 m horizontaler Auflösung zu Grunde. Im Auslieferungszustand beinhaltet SONAPP keine Geländedaten. Damit das jeweils benötigte Gebiet dargestellt werden kann, müssen die GIS-Daten, die den Bereich abdecken in das Verzeichnis 'SONAPP\DATA_TOPO\E###N##' kopiert werden. Jeder dieser Ordner enthält die Binär- und Headerdateien, die jeweils einen Bereich von $1°\times1°$abdecken und belegt etwas mehr als 9.3 MB Speicher.

Eigenschaften der Topographiedarstellung (Map settings)

Auf der rechten Seite des Hauptfensters finden sich die Einstellung für die Darstellung der Topographie (Map settings). Der darzustellende Ausschnitt wird durch die Angabe der linken unteren Ecke des Bereichs (E_start und N_start) sowie der Kantenlänge des aufzuspannenden Quadrats festgelegt. Durch Aktivieren der Option "interpolate" kann zusätzlich der Raster von 100 m auf 50 m linear interpoliert werden. Diese Option erscheint insbesondere dann sinnvoll, wenn nur ein relativ kleiner Bereich ($\leq0.15°\times0.15°$) zur Darstellung gewählt wird, wobei dann das Gelände klarer erkennbar wird. Bei größeren Bereichen ist diese Funktion nur mit Vorsicht anzuwenden, da dies dem Host-Rechner eine nicht unwesentliche, zusätzliche Rechenleistung abverlangt, die im schlimmsten Fall zum Absturz des Betriebssystems und eventuell damit verbundenem Datenverlust führen kann.

Durch Anklicken der Schaltfläche "Refresh map" werden sämtliche Parameter der Landkartendarstellung (Interpolation, Stationsnamen und -positionen, Aktivitätsstatus; siehe Abschnitt 10.3) aktualisiert sowie die Landkarte neu gezeichnet. Beim Start des Programmes wird ebenfalls zuerst eine automatische Aktualisierung der Darstellung durchgeführt.

HINWEIS: Wird in den Einstellungen ein Bereich gewählt, für den im spezifizierten Ver-

[1] Institut für Meteorologie und Geophysik Wien (IMGW)

zeichnis keine Daten vorliegen, wird dieser in der Darstellung als Ebene dunkelblau schraffiert in 0 m Seehöhe dargestellt.

Stationseinträge

Im rechten Bereich des Fensters befinden sich idente Statusanzeigen, Windrosen und Download-Buttons für maximal vier Stationen.
Wird im Setup eine Station als aktiv gekennzeichnet (Abschnitt 10.3), dann wird der jeweilige Stationsname angezeigt und der Download-Button (Download station) wird benutzbar. Andernfalls erscheint im Namensfeld die Bezeichnung "inactive" und die Download-Schaltfläche erscheint ausgegraut. Ein Klick auf die Schaltfläche "Download station ..." öffnet ein Auswahlfenster, in dem festgelegt werden kann, wie die Datenübertragung bewerkstelligt werden soll: Mittels einer GSM-Verbindung oder über ein serielles (RS232-) Kabel.

Die Windrosen zeigen die jeweils letzten verfügbaren Datensätze der einzelnen Stationen an. Existiert im Rohdatenverzeichnis von SONAPP (Abschnitt 11.1) eine Datei, deren Bezeichnung mit dem Stationsnamen übereinstimmt, dann sucht das Programm die aktuellsten Einträge aus den jeweiligen Rohdatenfiles und rechnet die vektoriellen Werte (U, V und W) in Polardarstellung um. Angegeben werden Windrichtung, Magnitude und Uhrzeit der dargestellten Werte. Die Einheiten der angezeigten Größen richten sich nach den im Starlog-Schema getroffenen Einstellungen (siehe Abschnitt 10.5).

HINWEIS: SONAPP sucht für die Windrosendarstellung in den Rohdaten nach den Kanalnamen "U (AVE)" respektive "V (AVE)", d.h. in Starlog 3 müssen die Kanäle mit "U" und "V" benannt werden und deren Mittelwerte über das Log-Intervall aufgezeichnet werden. Werden die Mittelwerte nicht aufgezeichnet oder stimmen Kanal- oder Stationsbezeichnung nicht mit den Suchkriterien überein, erscheint die Windrose inaktiv und ausgegraut.

Statusleiste

In der Statusleiste ist der Zeitpunkt des nächsten automatischen Downloads (Abschnitt 10.3) sowie die Bezeichnung der betroffenen Station ersichtlich. Sind die automatischen Downloads im Setup deaktiviert, wird hier ein gleichlautender Statustext ausgegeben.

HINWEIS: Ist gerade zu dem Zeitpunkt, für den eine automatische Übertragung festgelegt wurde, ein anderes Fenster von SONAPP geöffnet (Setup, View & export data, Download station), wird der anstehende Download übersprungen. Dies ist notwendig, um die Datei Setup.ini, in der sämtliche globalen und stationsbezogenen Einstellungen gespeichert werden, vor unzulässigen Zugriffen von mehreren Prozessen gleichzeitig zu schützen.

Sonstiges

Bewusst wird dem Benutzer die Möglichkeit verwehrt, SONAPP unter Verwendung des "Fenster schließen"-Symbols in der rechten oberen Ecke des Fensters zu schließen. SONAPP kann nur mit der Schaltfläche "Quit SONAPP" ordnungsgemäß beendet werden. Auf diesem Weg wird sichergestellt, dass vor dem Schließen die verwendete COM-Schnittstelle freigegeben und allfällige noch bestehende Telefonverbindungen zurückgesetzt werden.

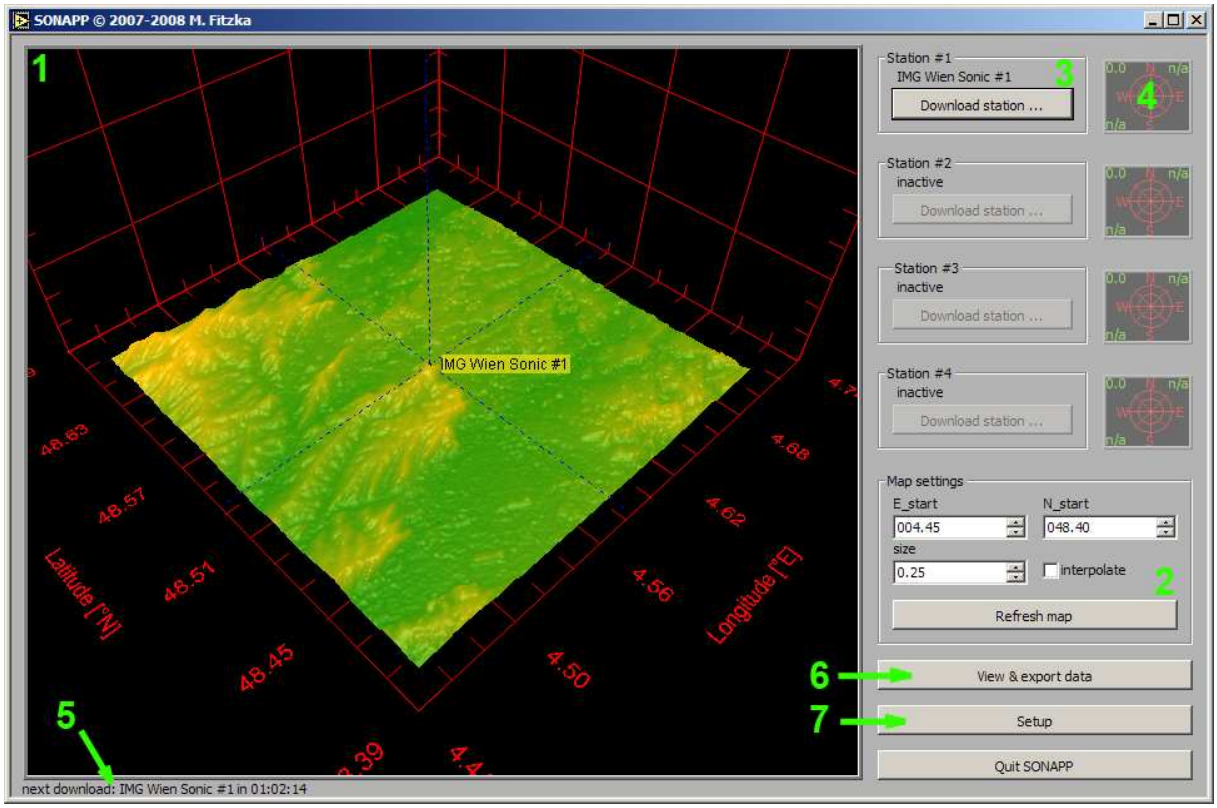

Abbildung 5: Elemente des Hauptfensters: (1) Darstellung der Topographie des Messgebietes; (2) Eigenschaften der Topographiedarstellung; (3) Stationseinträge; (4) Windrose; (5) Statusleiste; (6) Datenvisualisierung und -export starten; (7) Konfigurationsfenster öffnen

10.2 Download station

Der Download einer Station kann entweder durch Anwählen der entsprechenden Schaltfläche im Hauptfenster oder durch Erstellen eines entsprechenden Zeitplans zur automatischen Datenübertragung initiiert werden. Die serielle Verbindung wird über die im Setup (Abschnitt 10.3) festgelegte Schnittstelle aufgebaut. Wird kein Datalogger oder kein Modem gefunden, oder stimmt die Seriennummer des Loggers nicht mit den Angaben im Setup überein, gibt das Programm eine dementsprechende Fehlermeldung aus und bricht den Übertragungsvorgang ab.

Dauert der Verbindungsaufbau länger als 45 Sekunden (GSM), wird der Vorgang ebenfalls abgebrochen. Es ist zwar prinzipiell möglich, dass nach mehr als 45 Sekunden noch eine Verbindung zustande kommt, in Hinblick auf die schlechte dann zu erwartende Verbindungsqualität wird der weitere Versuch dennoch unterlassen.

Nach erfolgtem Verbindungsaufbau wird der Logger mit der Systemzeit des Host-Rechners synchronisiert (Details siehe Abschnitt 11.2). Dieser Vorgang dauert rund zehn Sekunden. Aufgrund der stark unterschiedlichen Übertragungszeiten einer GSM-Verbindung gegenüber einem seriellen Kabel ist die erzielte Genauigkeit der Synchronisation vom Verbindungstyp abhängig: Bei einer GSM-Verbindung wird die Uhrzeit nur auf etwa eine Sekunde genau festgelegt, während bei einer Verbindung über ein RS232-Kabel die Genauigkeit schlechtesten Falls bei 50 ms liegt.

Nach erfolgter Datenübertragung werden die neuen Datensätze im Rohdatenverzeichnis abgelegt und eine Meldung über den positiven Abschluss wird ausgegeben (diese entfällt im Falle eines automatischen Downloads via GSM). Die Daten stehen dann für das Darstellungs- und Export-Modul (View & export data) zur Verfügung. Wird die Übertragung unterbrochen (Benutzerinteraktion, Abbrechen der GSM-Verbindung, Abziehen des seriellen Kabels, ...), werden keinerlei Daten geschrieben. Der nächste Download dieser Station wird dann so durchgeführt, als ob der vorherige Versuch nicht stattgefunden hätte.

HINWEIS: Wenn der Logger auf eine Scan-Rate von über 2 Hz programmiert wurde, funktioniert dessen Uhrzeitabfrage nicht mehr zuverlässig. SONAPP erkennt diese Situation und unterlässt dann die Zeitsynchronisation.

HINWEIS: Während der Entwicklung von SONAPP hat sich leider herausgestellt, dass die Antwort des Loggers bei Abfrage der Seriennummer nicht zuverlässig funktioniert: Selbst wenn im Setupfenster die richtige Seriennummer eingetragen wurde, kann es vorkommen, dass der Download abgebrochen wird, weil die Antwort des ProLogger nicht mit den Voreinstellungen übereinstimmt.

ACHTUNG: SONAPP geht davon aus, dass der Logger auf die Verwendung des Ringspeichers programmiert wird, da dies bei der geringen Speicherkapazität des UNIDATA ProLogger ($\leq$512 kByte) die einzige Möglichkeit darstellt, über einen längeren Zeitraum Daten aufzuzeichnen. Wenn nun der Logger nach voller Ausnutzung des Speichers wieder von vorne in den Speicherbereich zu schreiben beginnt und davor nicht mit SONAPP ausgelesen wurde, speichert er darüber keinerlei Informationen und gibt keine Rückmeldung aus, d.h. die Software kann diese Situation nicht erkennen. Infolgedessen gehen sämtliche Daten, die der Logger bis dahin aufgezeichnet hat, verloren. Durch regelmäßiges und rechtzeitiges Abrufen der Daten kann diese

Fehlfunktionünterbunden werden.

ACHTUNG: Da der ProLogger den Log-Einträgen keine tatsächlichen Zeitstempel zuordnet, sondern diese lediglich fortlaufend nummeriert, ist die korrekte zeitliche Zuordnung der Messdaten von der Systemzeit des Host-PC abhängig. Zur Gewährleistung der richtigen Angaben muss die Zeit des Host-Rechners sowohl beim Programmieren des Loggers mit Starlog 3 sowie beim Abrufen der Messwerte mit SONAPP auf UTC eingestellt bleiben.

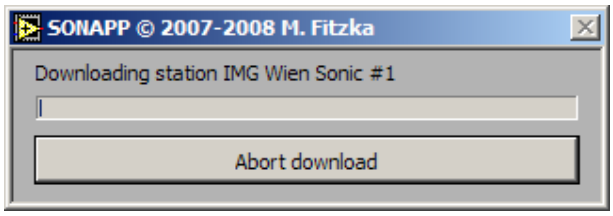

Abbildung 6: Download-Fenster

10.3 Setup

Das Setup-Fenster dient dazu, sämtliche relevante Einstellungen für den Programmablauf zu treffen. DieParameter sind auf zwei Regisitrierkarten aufgeteilt: "Station settings" beeinhaltet stationsbezogene Optionen, während sich unter "Global settings" Einstellungen zum generellen Programmablauf finden.

Station settings

Für jede der vier Stationen sind identische Kanalzüge vorhanden, die im Folgenden exemplarisch für eine Station erläutert werden.

Die Option "active" bestimmt, ob für die jeweilige Station in der Topographiedarstellung des Hauptfensters (siehe Abschnitt 10.1) ein Positionsanzeiger verwendet werden soll, der die geographische Lage des SONIC im Gelände darstellt. Dieser Positionsanzeiger ist ein dreidimensionales "Fadenkreuz". Der Schnittpunkt der beiden Linien repräsentiert die Messstation und ist zusätzlich mit einem Kugel-Symbol gekennzeichnet. Daneben wird der der Station zugewiesene Name angezeigt. Gleichzeitig bestimmt diese Option, ob die Station zur Datenübertragung bereitsteht: Ist sie deaktiviert, kann der Logger weder manuell noch automatisch abgefragt werden.

"Identifier" weist der Messstation einen Namen zu. Dieser wird als Beschriftung des Cursors verwendet. Darüber hinaus wird dieser im Hauptfenster im Namensfeld bzw. in der Statusleiste

(bei aktiviertem automatischem Download) angezeigt und zur Benennung und Identifizierung der Rohdaten herangezogen.

Unter "LoggerSr" muss die Seriennummer des ProLoggers (diese ist auf der Vorderseite des Gerätes aufgedruckt) eingegeben werden. Das Download-Modul überprüft vor der Datenabfrage die Identität des Loggers anhand dieser Seriennummer (Abschnitt 10.2). Stimmt diese nicht mit den Voreinstellungen überein, wird der Downloadversuch abgebrochen. Desweiteren wird die Seriennummer gemeinsam mit dem Stationsnamen in den Rohdaten sowie in den exportierten Dokumenten vermerkt, sodass bei eventuellen späteren Defekten oder Fehlfunktionen eines Dataloggers nachverfolgt werden kann, ob die archivierten Daten vertrauenswürdig sind bzw. nachkalibriert werden müssen.

Im Feld "Phone" wird die Telefonnummer (inklusive Landeskennziffer, z.B. '+43' für Österreich, bei der Netzvorwahl entfällt dann die führende Null) des GSM-Modems eingetragen, das sich bei jeder Station gemeinsam mit dem Datenlogger im Schaltschrank befindet. Eine falsche Telefonnummer führt zum Abbruch der Datenübertragung.

Für die Darstellung des Messgeländes relevant sind die Felder "x[°E]" und "y[°N]", die die Position der Station in dezimalen Grad angeben. Die hier angegebenen Koordinaten bestimmen, wo in der schematischen Abbildung der Cursor eingezeichnet wird, weiters wird die Position in den Roh- und Ausgangsdaten festgehalten, um eine spätere exakte Zuordnung der Messreihen zu gewährleisten.

HINWEIS: Es sei darauf hingewiesen, dass SONAPP zwar prinzipiell in der Lage ist, mit mehreren Stationen gleichen Namens umzugehen, ohne dabei Datenverlust zu provozieren, da die Messreihen unterschiedlicher Logger in verschiedene Rohdaten-Dateien geschrieben werden, dies im Sinne einfacherer Dateninterpretation aber tunlichst zu unterlassen ist. Abgesehen davon kann diese Vorgehensweise in Spezialfällen (z.B. mehr als eine Station mit spezieller instrumenteller Zusatzaustattung) trotzdem sinnvoll erscheinen.

ACHTUNG: Folgende Sonderzeichen dürfen keinesfalls in Stationsnamen (Identifiern) enthalten sein: \ / : * ? < >|
Andernfalls würden damit für das System ungültige Pfadangaben generiert werden, die zu Datenverlust und / oder Programmabstürzen führen können.

Global settings

"SerialPort" gibt an, über welche serielle Schnittstelle die Software mit der angeschlossenen Peripherie (Datalogger, GSM-Modem) kommunizieren soll. Gültig sind alle Werte zwischen COM1

und COM15. Es spielt hierbei keine Rolle, ob ein "echter" 9-poliger COM-Port am PC oder Adapter von USB auf RS232 (USB 1.0 ist bereits ausreichend schnell) verwendet wird, lediglich ein gültiger Treiber muss für allfällige Adapterlösungen installiert werden.

Unter 'Scheme" wird das UNIDATA Starlog 3-Schema spezifiziert, mit dem die ProLogger über die Dauer der Messkampagne programmiert sind und Daten aufnehmen.

Wird das Kästchen "Enable automatic downloads" aktiviert, stehen die Optionen zur Einstellung des Zeitplans für jede unter "Station settings" aktivierte Station zur Verfügung. Für jeden Logger kann separat festgelegt werden ("Automatically download station"), ob die Daten automatisch in periodischen Zeitabständen via GSM abgefragt werden sollen. Sind beispielsweise während einer Messreihe eine oder mehrere Stationen sehr nahe an der zentralen Unterkunft gelegen, erscheint es sinnvoll, ebenjene nicht automatisch, sondern manuell über ein serielles Kabel abzufragen und auf diesem Weg die sonst anfallenden Verbindungsgebühren einzusparen. Automatische Downloads werden ausschließlich via GSM bewerkstelligt. Um einen Zeitplan zu erstellen, werden der Startzeitpunkt und das Intervall, in dem die aktuellen Werte ermittelt werden sollen, angegeben. Die Angabe des Startzeitpunkts beinhaltet eine Datumsangabe, um auch Abfragezeiträume zu ermöglichen, die sich nicht zu einem ganzzahligen Vielfachen von 24 Stunden ergänzen, beziehungsweise über einen Tag hinausgehen. Der längstmögliche Zeitraum beträgt 168 Stunden (eine Woche), der minimale zwei Minuten. In der Statusleiste des Hauptfensters wird dann der Zeitpunkt der nächsten Abfrage sowie die Bezeichnung der betreffenden Station angezeigt.

HINWEIS: Es ist sicherzustellen, dass der COM-Port, den SONAPP verwendet, nicht von anderen Anwendungen belegt wird. Anders als die meisten Produkte zur Messgerätesteuerung ist SONAPP nicht auf die Verwendung von COM1 bis COM3 beschränkt, um eventuellen Zugriffskonflikten aus dem Weg zu gehen, ist es daher oft von vornherein einfacher, SONAPP auf die Verwendung eines ansonsten eher unüblichen Ports (bei Verwenden einer Adapterlösung z.B. COM10 und höher, "echte" 9-pol COM-Ports dagegen sind manchmal unveränderlich auf COM1 festgelegt) zu programmieren. Auf diesem Weg kann SONAPP parallel mit anderer Software, die eine serielle Schnittstelle verwendet, benutzt werden.

HINWEIS: Für den Fall, dass zwei oder mehr Zeitpläne derart eingerichtet wurden, sodass die Zeitpunkte der Abfragen zusammenfallen, wird automatisch die Station mit der niedrigeren fortlaufenden Nummer bevorzugt behandelt, der Download der höher bezifferte Station entfällt.

ACHTUNG: Werden die Einstellungen durch Klicken auf die Schaltflächen "Apply" oder "OK" bestätigt, überprüft SONAPP, ob unter C:\STARLOG\SCHEMES\ ein gültiges Starlog-Schema mit angegebenem Namen existiert. Fällt die Überprüfung negativ aus, wird der Benut-

zer aufgefordert, über einen Dateidialog eine Schemadatei anzugeben. Zwar kann dieser Dialog auch abgebrochen werden, da jedoch der ProLogger selbst keine Kanal-Benennungen, Zeitstempel, Auflösungsinformationen, Werteskalierungen, Formeln, etc. speichert, ist SONAPP auf das mit der UNIDATA Software generierte Schema angewiesen, um die Rohdaten interpertieren zu können. Wird kein korrekter Pfad angegeben, kann das Download-Modul (Abschnitt 10.2) die vom Logger bereitgehaltenen Rohdaten nicht interpretieren und löst einen Programmabsturz aus.

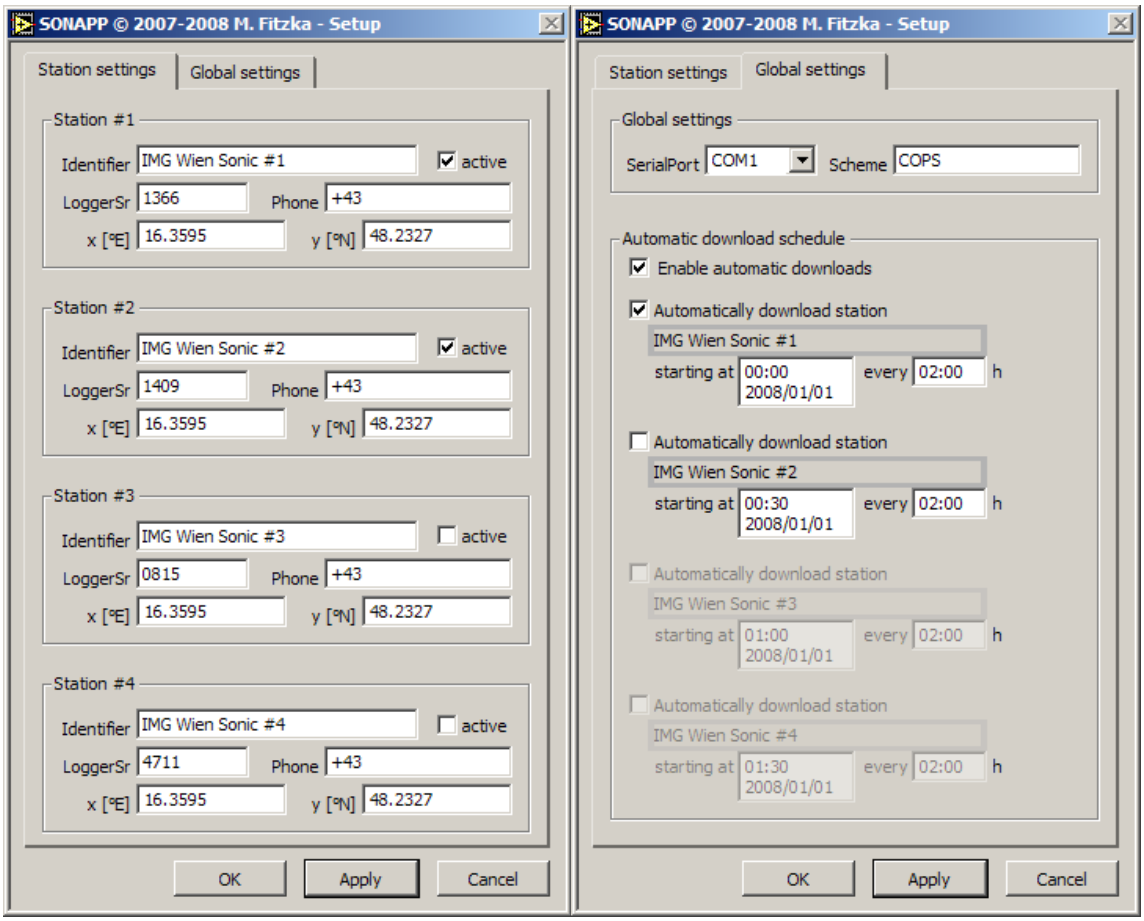

Abbildung 7: Setup-Fenster; linke Seite: stationsbezogene Einstellungen; rechte Seite: globale Optionen; die Erstellung eines Zeitplans ist ausschließlich für aktive Stationen möglich; der Status steuert ebenfalls die Sichtbarkeit der Stationen in der schematischen Darstellung der Topographie

10.4 View & export data

Select data files ...

Durch Klicken auf die Schaltfläche "View & export data" im Hauptfenster gelangt man zum Modul für die Datenvisualisierung sowie zu den Exportoptionen. Gleich zu Beginn erscheint eine Liste aller im Rohdatenverzeichnis vorhandener Datenreihen, die bei den Stationsdownloads generiert wurden. Zur leichteren Identifizierbarkeit der Dateien werden in den zusätzlichen Spalten der Zeitraum, über den sich die enthaltenen Messdaten erstrecken, das Starlog-Schema, mit dem diese aufgezeichnet wurden, die geographische Lage der Station sowie die Seriennummer des UNIDATA ProLoggers angegeben, mit dem die Werte akquiriert wurden. Selbst wenn eine Station unter demselben Namen an verschiedenen Orten eingesetzt wurde, bleiben die Zeitreihen eindeutig zuordenbar. Der Benutzer kann nun die gewünschten Dateien auswählen, oder durch einen einfachen Klick auf die Schaltfläche "Cancel" zum Hauptfenster zurückkehren. Eine einzelne Datei kann durch einen Klick in die Zeile des Auswahlfensters markiert werden. Soll eine einzelne Auswahl entfernt oder hinzugefügt werden, muss während des Klicks mit der linken Maustaste die Taste 'Strg' bzw. 'Ctrl' gedrückt gehalten werden. Mehrere aufeinanderfolgende Listenelemente können durch Linksklick auf das erste Element und darauffolgendem Linksklick mit gedrückt gehaltener "Shift"-Taste angewählt werden. Es können beliebig viele Elemente der Liste markiert werden, mindestens jedoch eines. Mit "OK" wird die Auswahl bestätigt, und man gelangt zum Darstellungs-Fenster.

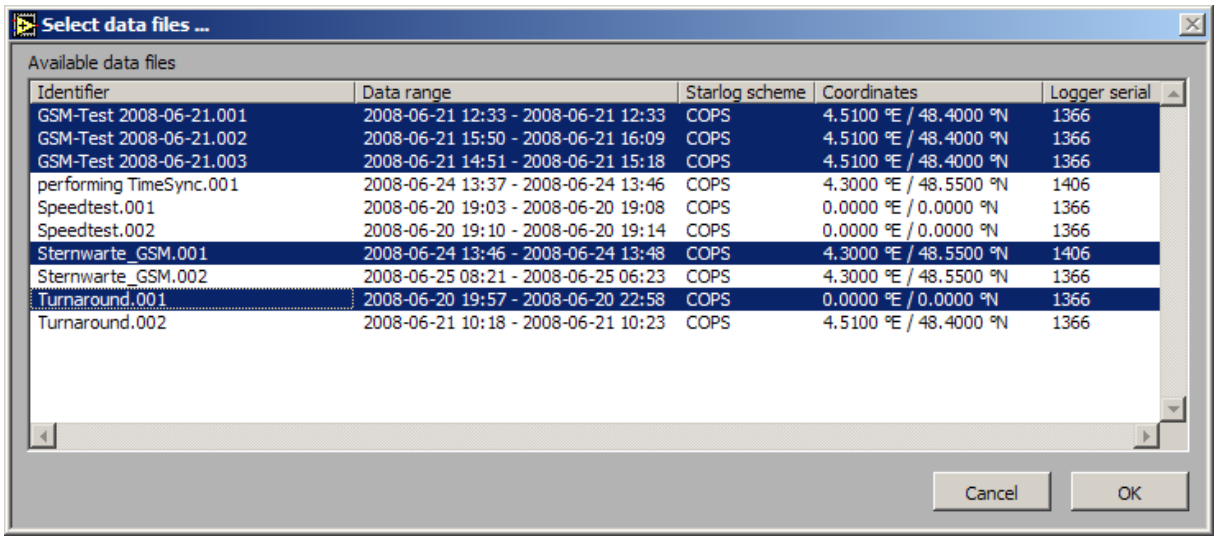

Abbildung 8: Fenster zur Auswahl der Messwert-Dateien, die die Datenreihen von Interesse enthalten; es werden alle Rohdaten-Dateien angezeigt, die unter "SONAPP\DATA\RAW\" gespeichert sind

Darstellungs-Fenster

Im rechten Bereich befindet sich eine Auswahlliste sämtlicher in den Datenfiles enthaltenen Messreihen. Die Bezeichnung dieser Kanäle setzt sich aus der beinhaltenden Rohdaten-Datei und dem im Starlog 3 vergebenen Kanalnamen zusammen. Ebenso wird auf die physikalische Einheit der Messwerte verwiesen, sowie auf die Art der Datenerfassung (Mittelwert über Log-Intervall, Spitzenwerte im Log-Intervall, etc.). Links neben jedem Kanal symbolisiert ein horizontaler Balken die Farbe, in der die jeweilige Datenreihe im Plot dargestellt wird, sofern diese aktiv ist. Der Modus der Auswahl ist identisch mit der weiter oben erklärten Auswahl der Rohdaten-Dateien, mit dem Unterschied, dass es hier auch möglich ist, kein Element der Liste markiert zu haben. Markierte Datenreihen werden auf der linken Seite im Plot dargestellt. Wird eine Reihe markiert, skaliert die grafische Darstellung automatisch auf den Werteumfang aller ausgewählten Kanäle. Dabei wird sowohl die Skalierung der Zeit- sowie der Größenachse angepasst. Ist dieses Verhalten unerwünscht, weil zum Beispiel in einem ausgewähltem Zeitintervall nacheinander verschiedene Datenreihen ein- bzw. ausgeblendet werden sollen, ohne dass der dargestellte Ausschnitt verändert wird, kann mit den Options-Kästchen "Autoscale Time" beziehungsweise "Autoscale Amplitude" das automatische Anpassen der Skalierung für die beiden Achsen getrennt aktiviert oder unterbunden werden. Durch einen Linksklick auf die Schaltfläche "Add or change data files" wird das eingangs erwähnte Fenster zur Auswahl der Rohdaten-Dateien erneut aufgerufen, die Auswahl kann dann erweitert oder verändert werden, um zusätzliche Kanäle verfügbar zu machen oder um nicht benötige Reihen von der Auswahl abzuziehen.

SONAPP ermöglicht dem Benutzter außerdem, Datenreihen in einer beliebigen Zusammenstellung in Komma- bzw. Tabulator-getrennte ASCII-Dateien zu exportieren. Dazu werden zunächst alle Kanäle, die in eine neue Datei geschrieben werden sollen, in der Kanal-Auswahlliste auf der rechten Seite des Darstellungsfenster ausgewählt (So ist es unter anderem möglich, nicht benötigte Reihen wie die Referenzspannung am Temperatursensor, die der Logger benötigt, um die Temperatur korrekt berechnen zu können, als Ergebnis für den Benutzer jedoch irrelevant ist, einfach wegzulassen). Der zeitliche Ausschnitt wird dadurch festgelegt, dass im Plot der dargestellte Bereich mit Hilfe der Zoom-Werkzeuge (diese befinden sich in der rechten oberen Ecke der Darstellungsfläche) entsprechend eingestellt wird. Derjenige Zeitabschnitt, der im Plot sichtbar ist, wird exportiert. Zusätzlich wird mit der Option ".csv" bestimmt, ob die Daten nach dem Export als Komma-getrennte (Option ist aktiviert) oder als Tabulator-getrennte (Option ist deaktiviert) ASCII-Dateien vorliegen sollen. Ein Linksklick auf "Export visible data" öffnet einen Dateiauswahldialog, mithilfe dessen der Speicherort der exportierten Reihen festgelegt wird. Neben den Datenreihen enthält jede derart zusammengestellte Datei für jede Station, von der Kanäle enthalten sind, zusätzliche Meta-Informationen, wie: Name der Station, Koordinaten in dezimalen Grad, Seriennummer des Dataloggers und Name des Starlog-Schemas.

Durch Klicken auf "Done" schließt man das Darstellungsfenster und kehrt zum Hauptfenster von SONAPP zurück.

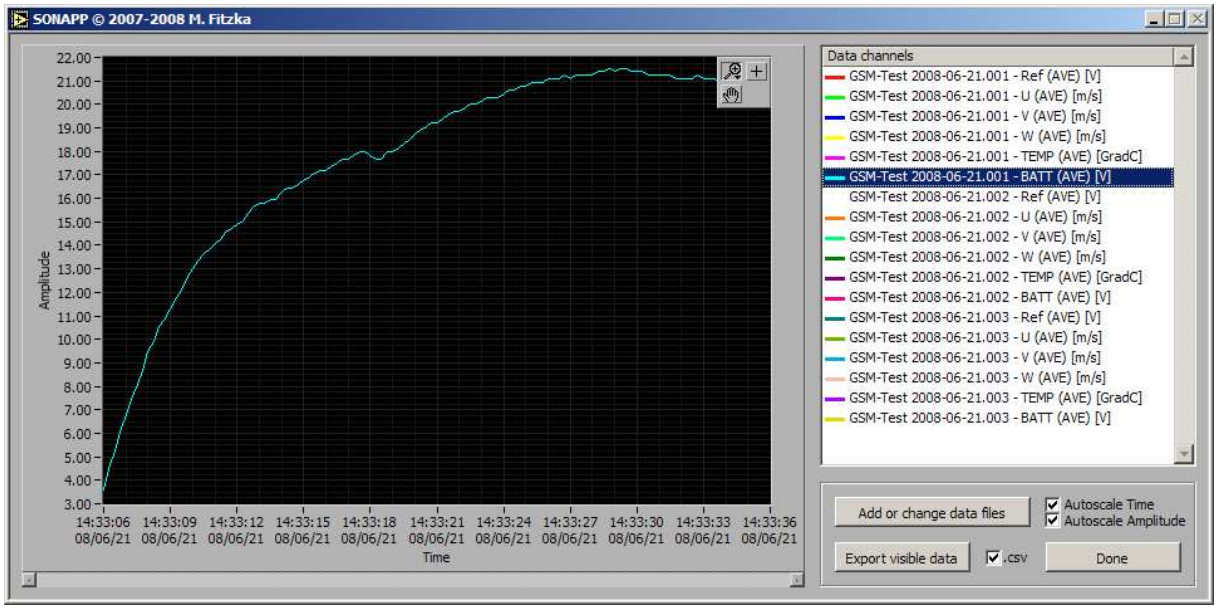
SONAPP © 2007-2008 M. Fitzka
Amplitude
Time
Data channels
GSM-Test 2008-06-21.001 - Ref (AVE) [V]
GSM-Test 2008-06-21.001 - U (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.001 - V (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.001 - W (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.001 - TEMP (AVE) [GradC]
GSM-Test 2008-06-21.001 - BATT (AVE) [V]
GSM-Test 2008-06-21.002 - Ref (AVE) [V]
GSM-Test 2008-06-21.002 - U (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.002 - V (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.002 - W (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.002 - TEMP (AVE) [GradC]
GSM-Test 2008-06-21.002 - BATT (AVE) [V]
GSM-Test 2008-06-21.003 - Ref (AVE) [V]
GSM-Test 2008-06-21.003 - U (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.003 - V (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.003 - W (AVE) [m/s]
GSM-Test 2008-06-21.003 - TEMP (AVE) [GradC]
GSM-Test 2008-06-21.003 - BATT (AVE) [V]
Add or change data files
Autoscale Time
Autoscale Amplitude
Export visible data
.csv
Done

Abbildung 9: Fenster zur Anzeige und zum Export von Datenreihen; alle in den gewählten Rohdaten enthaltenen Kanäle werden in der Auswahlliste rechts angezeigt, die Farben der horizontalen Balken entsprechen der Plot-Legende; in der rechten oberen Ecke der Zeichnungsfläche stehen die Zoom-Werkzeuge bereit, mit denen der zeitliche Bereich für den Datenexport festgelegt wird.

10.5 Systemanforderungen und Laufzeitumgebung

UNIDATA STARLOG 3

SONAPP setzt voraus, dass auf dem Host-PC UNIDATA Starlog 3 unter "C:\STARLOG\" installiert ist. Da der Logger selbst keine Kanal-Benennungen, Zeitstempel, Auflösungsinformationen, Werteskalierungen (auch mit Formeln), etc., sondern lediglich die Rohdaten aus dem A/D-Wandler in seinem Speicher ablegt, ist SONAPP auf das mit der UNIDATA Software generierte Logger-Programm (Schema) angewiesen, um die Rohdaten interpretieren zu können. Fehlen diese Informationen oder der Suchpfad stimmt nicht mit dem oben angeführten überein, kann SONAPP zwar ausgeführt werden, beim Download einer Station (hier greift SONAPP auf die Schema-Informationen zu) kommt es jedoch unweigerlich zu Programmfehlern und -abstürzen.

HINWEIS: Beim Übertragen der Rohdaten auf den Host-Rechner werden die Rohwerte aus dem A/D-Wandler des Loggers in physikalisch richtige Werte umgerechnet. Neben verschiedenen Arten der Skalierung können auch Formeln zur Berechnung verwendet werden. So wird

zum Beispiel beim vorliegenden Aufbau die Temperatur des YSI-NTC aus dem Spannungsabfall an ebendiesem und der Referenzspannung bestimmt. Dazu verwendet Starlog 3 ein (nicht von außen aufrufbares) Formelmodul [Unidata Pty Ltd 1999]. SONAPP beinhaltet daher einen Nachbau dieses Moduls, mit dem Unterschied, das folgende (im Allgemeinen nicht verwendeten) Formelaufrufe nicht verarbeitet werden können: "pushp", "byte", "char", "word", "int", "ulong", "long" und "print". Wird dennoch einer diese Operatoren verwendet, werden diese von SONAPP ignoriert, die Werte werden dabei falsch berechnet.

ACHTUNG: Es ist unbedingt sicherzustellen, dass exakt das Schema, mit dem der Logger initialisiert wurde, im weiter oben spezifizierten Dateiordner vorhanden ist. Es ist nicht ausreichend, wenn bloß der Name des Schemas mit dem auf dem ProLogger befindlichen übereinstimmt. Sind die Programme nicht absolut identisch, kann SONAPP bei der Datenübertragung die Rohdaten des Loggers nicht richtig interpretieren, die Daten werden aber trotzdem aus dem Logger übertragen, was zu Datenverlusten führt.

NI LabVIEW RTE & NI VISA RTE

SONAPP benötigt das NI LabVIEW 8.2.1 RunTimeEnvironment oder höher sowie das NI VISA 4.3 RunTimeEnvironment oder aktueller. Aus Gründen des Lizenz- und Urheberrechts können diese beiden Installationspakete nicht auf der CD-ROM, die diesem Dokument beiliegt, mitgeliefert werden. Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind diese unter

`ftp://ftp.ni.com/support/visa/drivers/win32/4.3/visa430runtime.exe`
`ftp://ftp.ni.com/support/labview/runtime/windows/8.5.1/LVRTE851min.exe`

zum Herunterladen verfügbar. Es sei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass LabVIEW selbst *nicht* auf dem Host-PC installiert sein muss, es wird daher auch keine gültige Lizenz benötigt.

MS Windows 2000/ME/XP/Vista (32/64 bit)

NI LabVIEW an sich stellt bis auf wenige Funktionen und Elemente eine plattformunabhängige Programmiersprache dar. Werden bestimmte Elemente und Funktionen eingesetzt, kann es jedoch zu Einschränkungen bei der Wahl des Betriebssystems kommen. Im Falle von SONAPP betrifft dies die schematische Darstellung der Topographie: Dieser Oberflächenplot ist keine nativ in LabVIEW enthaltene Funktion, sondern ein MS Windows-ActiveX-Objekt, und daher auf die Verwendung von Windows 2000/ME/XP/Vista (es werden die 64-bit-Versionen von XP und Vista voll unterstützt) beschränkt. Windows 95 und NT werden nicht unterstützt.

11 Konzept der wesentlichsten Programm-Module

Die Auflistung der Erläuterungen erfolgt in alphabetischer Reihenfolge:

11.1 download_station.vi

Das Modul "download_station.vi" is für die gesamte Kommunikation zwischen ProLogger und Host-PC verantwortlich. Sämtliche verwendete Befehle an die DAQ sind spezifisch für den UNIDATA ProLogger. Bereits bei der Verwendung des sehr ähnlichen StarLogger könnten Probleme auftreten, da dieser über einen noch kleineren Speicher verfügt, der anders addressiert wird (der StarLogger wurde vor der Anschaffung der ProLogger verwendet, aufgrund des zu geringen Leistumgsumfanges später durch die ProLogger ersetzt; SONAPP ist nicht rückwärtskompatibel zu diesem Modell). Dieses Programm-Modul verwendet die Module "GSM_build_connection.vi" und "GSM_kill_connection.vi" zum Verbindungsmanagement, "read_string_from_VISA_resource.vi" zur tatsächlichen Datenübertragung, sowie "download_station_get_DeltaT.vi" zur Zeitsynchronisation.

Der Download eines Loggers beginnt mit dem Aufbau der Verbindung via RS232-Kabel oder GSM. Je nach erfolgter Verbindungsherstellung wird eine dementsprechende Meldung ausgegeben (Station nicht erreichbar, Mobilfunknetz nicht verfügbar, Timeout, Verbindung hergestellt, etc). Konnte eine Verbindung hergestellt werden, folgt die Überprüfung der Seriennummer des Loggers. Stimmt diese nicht mit der Einstellungen im Setup (Abschnitt 10.3) überein, wird die weitere Übertragung abgebrochen. Desweiteren wird der momentane Status des Speichers ausgelesen und bestimmt, ob der Logger zum ersten Mal ausgelesen wird, oder ob zu dieser Messreihe bereits eine Rohdatendatei existiert.

Die darauf folgende Zeitsynchronisation verläuft je nach Verbindungstyp (Kabel, GSM) spezifisch auf die Übertragungsgeschwindigkeit angepasst (siehe Abschnitt 11.2).

Nach der Zeitsynchronisation beginnt SONAPP, die noch nicht abgefragten Messwerte aus dem Speicher des Loggers auszulesen. Dabei wird immer um Stücke von maximal 65 Kilobyte Größe angefragt, um möglichst wenige Anfragen übertragen zu müssen, was vor Allem bei der Verwendung von GSM aufgrund der langen Wartezeiten für Anfragen die Übertragungsgeschwindigkeit insgesamt beträchtlich anhebt (gegenüber den ungefähr 35 Millisekunden, die die Übertragung einer einzelnen Speicheranfrage über ein RS232-Kabel dauert, stehen bis zu 2200 Millisekunden bei GSM). Größere Stücke können nicht angefragt werden, da hierfür der 16 bit Adressierungsbereich des ProLogger nicht ausreicht. Tritt während der Datenübertragung kein Fehler auf, vermerkt SONAPP die Adresse des zuletzt gelesenen Speicherregisters sowie den Zeitpunkt, zu dem die Übertragung erfolgte, und schließt die serielle Schnittstelle bzw. been-

det davor noch die GSM-Verbindung. Wurden jedoch zum Beispiel wegen einer abgebrochenen Verbindung, weniger Bytes übertragen, als angefordert wurden, gilt der Download als fehlgeschlagen. Da in so einem Fall kaum noch feststellbar ist, bis zu exakt welcher Speicheradresse der Logger ausgelesen wurde, werden keine neuen Adressen vermerkt, der Download wird so behandelt, als hätte er nicht stattgefunden, der beantrage Datenbereich wird beim nächsten Anlauf erneut abgefragt.

Im folgenden Abschnitt werden die Rohdaten in physikalische Werte umgerechnet (Starlog3_PDLOUT1.vi) und in eine Rohdatendatei abgelegt. Wurde der Logger mit dem vorliegenden Schema bereits ausgelesen, werden die neuen Werte inkrementell an die schon existierenden angefügt. Andernfalls wird eine neue Rohdatendatei eröffnet.

Zum Schluss wird der Name der soeben abgefragten Station an das Modul "Map_draw_windrose.vi" übergeben und die Anwendung beendet.

11.2 download_station_get_DeltaT.vi

Dieses Modul bewerkstelligt die Zeitsynchronisation zu Beginn eines jeden Downloads. Wie bereits in Abschnitt 8.1 erläutert wurde, ist es nicht möglich, die Uhrzeit eines Host-PC direkt auf den ProLogger zu übertragen. Da das Gerät jedoch bereits unmittelbar nach dem Initialisieren mittels Starlog 3 einen Fehlgang der internen Uhr von bis zu 16 Sekunden aufweist, musste irgendeine Art der Zeitübertragung entwickelt werden, da derart große Abweichungen eine synchrone Messung mehrerer Stationen völlig unmöglich machen. Es wurde daher ein "indirekter" Zeitabgleich in SONAPP integriert: Die Uhrzeit des Loggers selbst bleibt dabei unter allen Umständen von außen unverändert, es wird lediglich der Zeitunterschied zwischen Logger und PC festgestellt und abgespeichert. Nach der Datenübertragung wird dann zwischen der vorhergehenden und der aktuellsten Abweichung linear interpoliert und der daraus resultierende "Abweichungsvektor" vom "Zeitvektor" der Datensätze subtrahiert.

Die Aufzeichnung der Zeitverschiebung über längere Zeit hinweg hat gezeigt, dass die Änderung des Fehlgangs des ProLogger über eine Periode von bis zu zwei Tagen in guter Näherung tatsächlich linear verläuft. Über wesentlich längere Perioden hinweg steht zu erwarten, dass überlagerte Langzeitstörungen in Erscheinung treten, die vom Schwingverhalten des Quartz-Kristalls herrühren. Aufgrund der geringen Speichergröße des Loggers muss dieser aber ohnehin häufiger abgefragt werden, womit die Gültigkeit der linearen Interpolation wieder hergestellt ist. Je nach verwendetem Verbindungstyp verläuft die Bestimmung des Fehlgangs anders:

Verbindung via RS232-Kabel

Die Genauigkeit der Zeitbestimmung wird durch die Tatsache erschwert, dass der UNIDATA ProLogger die interne Uhrzeit lediglich in ganzen Sekunden zur Verfügung stellt. Würde nun einfach die Uhrzeit abgefragt und mit der auf Millisekunden verfügbaren Uhrzeit des Host-PC abgeglichen, würde unweigerlich ein Fehler von bis zu einer Sekunde in Kauf genommen. Deshalb wird unter Ausnutzung der maximalen Übertragungsgeschwindigkeit des seriellen Kabels die Zeit etwa alle 45 Millisekunden (dieses Zeitintervall stellt in etwa das kleinste Intervall dar, in dem Abfragen gestellt werden können) abgefragt. Stellt das Modul nun fest, dass gegenüber der letzten Abfrage ein Sekundensprung stattgefunden hat, wird die Zeit der letzten Abfrage als aktuelle Uhrzeit des Loggers angesehen. Diese wird mit der Systemzeit des Computers verglichen und daraus der Fehlgang bestimmt. Um die Genauigkeit weiter zu steigern bzw. die Wahrscheinlichkeit, dass gerade 45 Millisekunden neben dem Zeitsprung der Sekundensprung festgestellt wird, zu verringern, läuft die gesamte Prozedur insgesamt fünf Mal ab. Die endültige Zeitverschiebung ist der Mittelwert aus den dünf Einzelabfragen. Der maximale Fehler, der bei der Bestimmung gemacht wird, ist geringer als 45 Millisekunden.

Verbindung via GSM

Gegenüber der oben genannten Methode ist es hier aufgrund der langsamen Antwortzeiten über die GSM-Verbindung nicht möglich, die Zeit mehrmals in der Sekunde abzufragen und so den Zeitsprung eindeutig identifizieren zu können. Es muss in diesem Fall genügen, einmal die Zeit abzufragen und diese sodann mit der Systemzeit abzugleichen. Die Ungenauigkeit liegt dementsprechend deutlich höher, nämlich bei bis zu zwei Sekunden.

11.3 GraphEx.vi

Dieses Modul dient zum Darstellen und Exportieren von mit SONAPP akquirierten Zeitreihen. Seine Funktionalität stützt sich im Wesentlichen auf zwei in LabVIEW nativ enthaltene Funktionen, nämlich dem Steuerelement "List Box" bzw. "Multi Column List Box" und dem Anzeigeelement "XY Graphs". Der Ablauf wird durch zwei VIs dominiert: Dem aufrufenden "GraphEx.vi" und dem SubVI "GraphEx_select_files.vi".

Zu Beginn wird das SubVI "GraphEx_select_files.vi" aufgerufen, welches im Rohdatenverzeichnis "SONAPP\DATA\RAW\" nach vorhandenen Dateien sucht. Zusätzlich werden aus jeder vorhandenen Zeitreihe Informationen über Stationsnamen, Aufstellungsort, Starlog-Schema und Seriennummer des Loggers, sowie über Start- und Endzeit der Zeitreihe ausgelesen und in den Spalten der Listbox dargestellt. Nach Auswahl der Messwerte wird das Array, das die Pfade zu allen Dateien im Rohdatenverzeichnis enthält, mit den Indizes der Auswahl indiziert und dieses verminderte Array an die Hauptfunktion übergeben.

Im Hauptmodul werden aus allen Dateien sämtliche Kanäle extrahiert und, mit den jeweilig zugehörigen Zeitvektoren kombiniert, an das Anzeigeelement "XY Graphs" weitergereicht, damit jeder Kanal separat dargestellt werden kann (jeder Plot besteht aus einem Cluster aus zwei 1D-Arrays, nämlich x- und y-Vektor; Multiplots sind demzufolge 1D-Arrays von Clustern aus 1D-Arrays). Parallel dazu wird ein Array, das die Namen sämtlicher Kanäle enthält, mit einem Array, das die Farben für die Kurvendarstellung enthält, kombiniert an die Listbox übergeben, die die Kanalauswahl ermöglicht und gleichzeitig als Legende dient.

Von diesem Punkt an wird zyklisch überprüft, ob sich die Auswahl von Elementen der Listbox verändert. Wenn ja, dann werden die Arrays aus Clustern (diese enthalten die tatsächlichen Datenreihen), Farben der Legende und Kanalnamen mit den Indizes der ausgewählten Elemente indiziert, und, derart vermindert, an das Anzeigeelement weitergeleitet. Davor wird noch überprüft, ob die Achsen x und y automatisch skaliert werden sollen.

Nach Aktivierung der Exportroutine werden exakt die Daten aus den indizierten Arrays übernommen und zu einem gemeinsamen, großen Array zusammengesetzt. Für Datenreihen, die Kanäle aus derselben Rohdatendateien sind, wird eine gemeinsame Zeitachse etabliert und auf einen Zeitstempel der Form "JJJJ-MM-DD hh:mm:sss.sss" konvertiert, d.h. die Cluster, die von der Plotroutine benötigt werden, werden hier wieder aufgelöst. Alle zu exportierenden Reihen werden nebeneinander angeordnet, für jede Rohdatendatei wird ein eigener Header geschrieben. Bevor das Array in eine Texdatei geschrieben wird, wird noch das Zeichen zur Spaltentrennung ausgewählt (Tabulator für *.txt respektive Semikolon für *.csv).

11.4 Map.vi

"Map.vi" steuert als Hauptmodul den gesamten Programmablauf und startet sämtliche Programmfunktionen wie das Abrufen der Daten, Visualisierung und Export der Daten, Konfiguration von SONAPP und zieht nach deren Ablauf die Konsequenzen, indem z.B. Anzeigen aktualisiert oder deaktiviert, Daten geschrieben und exportiert werden. Neben diesen (offensichtlichen) Funktionen erfüllt dieses Modul aber zwei weitere wesentliche Prozesse, die im Weiteren genauer erläutert werden sollen:

Darstellung der Topographie

Die schematische Darstellung des Messgebiets basiert auf dem ActiveX-Steuerelement "3D Surface Graph". Da dieses Steuerelement spezifisch für MS Windows ist, kann SONAPP nicht auf Rechnern mit anderen Betriebssystemen ausgeführt werden (siehe Abschnitt 10.5).

Ausgehend von den vom Benutzter festgelegten Koordinaten, die die linke untere Ecke des darzustellenden Bereichs spezifizieren, wird zunächst im Sub-VI "XY_to_data.vi" eine Liste der GIS-Daten erstellt, die importiert werden müssen, um den gewählten Bereich darstellen zu können. Des Weiteren erzeugt dieses VI eine Art Gitternetz, indem in Abhängigkeit von der Auflösung der GIS-Daten die zugehörigen x- und y-Vektoren aufgespannt werden. Die Daten liegen in Binärform vor, als eindimensionale Abfolge von Real-Zahlen in einfacher Genauigkeit. Gemäß der Liste über die zu importierenden Dateien werden diese einzeln eingelesen und in Matrixform, wiederum der Auflösung entsprechend, transformiert. Nachdem eine Datei gelesen worden ist, wird die nächste in den Raster eingefügt usw., bis die gesamt Liste abgearbeitet worden ist.

Eine einzelne Datei deckt in etwa einen Bereich von $0.5° \times 0.5°$ ab und enthält (bei einer Auflösung von 100×100 m) 59×59 Datenpunkte. Soll ein Bereich von $0.15° \times 0.15°$ dargestellt werden, entspricht das bereits 31,329 Datenpunkten. Es ist leicht ersichtlich, dass diese Darstellung einen erheblichen Rechenaufwand darstellen kann. Es wird daher empfohlen, den Bereich möglichst klein zu halten und gegebenenfalls die Option "interpolate" zu deaktivieren.

Sind alle Werte eingelesen worden, werden diese gemeinsam mit den x- und y-Vektoren an die Funktion "3D Surface Graph" übergeben. Nach der Erstellung des Oberflächenplots wird für jede der vier Stationen ein Cursor erstellt, der gemäß den Einstellungen im Setup seine Position, den Namen und seinen Aktivitätsstatus (sichtbar / nicht sichtbar) zugewiesen bekommt. Da im Allgemeinen nicht zu erwarten steht, dass die Cursorposition mit einem Gitterpunkt zusammenfällt, wurde eine Routine integriert (Map_snap_to_nearest_ point.vi), die, ausgehend von den eingestellten Koordinaten, den nächstgelegenen Gitterpunkt findet und die Cursorposition auf diesen anpasst.

Steuerung der automatischen Downloads

Die Routine für den Aufruf automatischer Downloads wird in einer Schleife bewerkstelligt, die alle 200 Millisekunden ausgeführt wird. Bei jeder einzelnen Ausführung wird einerseits die aktuelle Systemzeit des Host-Rechners abgefragt, und andererseits aus der globalen Konfigurationsdatei "Setup.ini" für jede der vier Stationen herausgelesen, ob diese aktiv sind. Wenn ja, wird mittels ganzzahliger Division überprüft, ob die Differenz zwischen Systemzeit und Startzeit für die automatischen Downloads ein ganzzahliges Vielfaches des eingestellten Zeitintervalls zwischen zwei Downloads ist. Für die Station mit dem geringsten Rest der ganzzahligen Division wird zusätzlich der Name an die Anzeige in der Statusleiste ausgegeben sowie die Differenzzeit angegeben.

Für den Fall, dass ein ganzzahliges Vielfaches vorliegt, wird das Modul "download_station.vi"

aufgerufen und die Datenübertragung für die betreffende Station initiiert. Es wird vorausgesetzt, dass für die automatischen Abfragen die Verbindung ausschließlich über GSM hergestellt wird.

11.5 Map_draw_windrose.vi

Ein wesentlicher Punkt des Lastenhefts für SONAPP besteht darin, möglichst schnell einen Überblick über die aktuellsten und neuesten Datensätze zu bieten. Dies sollte eine der wesentlichen Verbesserungen gegenüber der Ausgangssituation darstellen, da, wie in Abschnitt 9.1 festgestellt wurde, es hier lediglich darum geht, systematischen Datenverlust zu vermeiden, die Verfügbarkeit von beinahe-Echtzeitdaten ist keinesfalls gegeben. Im SONAPP wurde daher das Modul "Map_draw_windrose.vi" integriert, das zur Darstellung der jeweils letzten Datensätze aller aktiven Stationen im Übersichtsfenster dient.

Um eine möglichst schnelle Interpretation zu ermöglichen, wurde die Darstellung der Datensätze in Windrosenform implementiert. NI LabVIEW an sich bietet zwar native Polarplots, allerdings ist es nicht möglich, die Winkelskala um neunzig Grad im Uhrzeigersinn zu drehen, d.h. vom Polarplot zur Windrose zu konvertieren. Es musste daher eine eigene Plotroutine erstellt werden. Dazu wird zuerst die Windrose selbst (das "Fadenkreuz") mithilfe der Zeichenfunktionen von LabVIEW erstellt und mit den vier Haupthimmelsrichtungen beschriftet. Gleichzeitig werden die Positionen festgelegt, an denen die Beschriftungen für Magnitude, physikalische Einheit und Uhrzeit platziert werden sollen.

Die Zahlenwerte selbst werden aus den Rohdaten der jeweiligen Station extrahiert: Von der aufrufenden Funktion "download_station.vi" wird die Bezeichnung der Station übergeben, die in der Datei "Setup.ini" abgelegt wurde. Das Modul durchsucht nun das Rohdatenverzeichnis, ob unter diesem Namen eine Zeitreihe existiert. Wurde die so benannte Station noch nie abgefragt, und wird daher keine Messreihe gefunden, werden die Felder "Einheit" und "Zeit" mit "n/a" ("not available") markiert und der Status der Anzeige auf "disabled & grayed out" gesetzt. Wird eine Datei mit übereinstimmendem Namen gefunden, werden die letzten Einträge mit Beschriftung "U (AVE)" und "V (AVE)" herausgesucht. Wenn einer der beiden benötigten Kanäle einen abweichenden Namen aufweist, weil zum Beispiel nur die Spitzenwerte pro Log-Intervall aufgezeichnet wurden (diese tragen dann die Bezeichnung "U (MAX)" bzw. "V (MAX)"), nicht aber die Durchschnittswerte, wird wiederum für die Beschriftungen "Einheit" und "Uhrzeit" die Bezeichnung "n/a" ausgegeben und die Anzeige deaktiviert. Andernfalls werden die beiden Werte zur Berechnung der Polardarstellung weitergereicht.

Über die Berechung von Real- und Imaginärteil wird die Koordinatentransformation von kartesischen nach Polarkoordinaten vollzogen, zusätzlich erfolgt eine Linksdrehung um neunzig Grad, um "0" bzw. "360" in nördlicher Richtung darstellen zu können. Damit die Windrichtung

deutlich abgelesen werden kann, wird die Windfahne auf die Größe des äußeren Kreises der Windrose skaliert und kontrastierend in grün dargestellt. Die Uhrzeit der letzten Werte sowie deren physikalische Einheit werden aus der betreffenden Rohdatendatei eruiert und im Bild dargestellt. Das fertige Bild sowie der Status (aktiviert oder deaktiviert und ausgegraut) werden an das Modul "Map.vi" übergeben, danach endet der Prozeduraufruf.

11.6 read_string_from_VISA_resource.vi

In diesem Modul findet die tatsächliche Übertragung von angefragten Daten zwischen ProLogger und Host-PC statt. Nachdem mit der LabVIEW-Funktion "VISA write" ein Befehls-String an die spezifizierte COM-Schnittstelle gesendet wurde, wird nach einer bestimmten Wartezeit, die je nach Verbindungstyp zwischen 70 ms und 2000 ms variiert, der Empfangspuffer der Schnittstelle ausgelesen. Dabei wird zuerst bestimmt, welche Datenmenge im Puffer momentan verfügbar ist, die dann in den PC übertragen wird. Nach erfolgter Übertragung wird erneut überprüft, welche Datenmenge verfügbar ist. Ist die Anzahl verfügbarer Bytes größer als Null, wird diese Menge erneut ausgelesen. Sobald am Puffer keine Bytes mehr anliegen, wir das Auslesen beendet.

Würde die Wartezeit vor dem ersten Auslesen ausgelassen werden, würde die Routine vorzeitig beendet: Einerseits benötigt die Befehlsübertragung an den Logger einige Zeit, andererseits muss dieser nach Erhalt des Befehls erst die Daten an seine Schnittstelle schicken. Die unterschiedlichen Wartezeiten je nach Verbindungstyp (RS232-Kabel, GSM) resultiert aus den stark verschiedenen Übertragungszeiten für Anfragen, die bei einer GSM-Verbindung ein Vielfaches der Zeit bei einer kabelgebundenen Verbindung beträgt. Ist die Wartezeit zu gering, sind zum Zeitpunkt der ersten Anfrage noch keine Daten verfügbar, die Routine wird dann beendet, ohne Daten gelesen zu haben.

Sollte die Übertragung länger dauern, als vorhersehbar (z.B. bei einer schlechten GSM-Verbindungsqualität) und das Modul vorzeitig beendet werden, wird vorher noch sichergestellt, dass für nachfolgende Abfragen keine falschen, d.h. bei der vorherigen Abfrage zu spät bereitgestellten Daten an der Schnittstelle anliegen: Der Übertragungs- und der Lesepuffer werden vor dem Beenden geleert.

11.7 Starlog3_PDLOUT1.vi

Das VI "Starlog3_PDLOUT1.vi" dient zur Interpretation der Rohdaten aus dem A/D-Wandler des ProLogger. Die Art der Skalierung ist in der zum Starlog-Schema gehörigen Datei "Scheme.ini" abgespeichert. Die Skalierungsmethoden "keine Skalierung", "Fullscale a to b" und "Scale ax + b" werden direkt im Modul "download_station.vi" berechnet. Soll ein Werte mit einer Formel skaliert werden, was zum Beispiel beim Berechnen der Temperatur aus der nichtlinearen

Kennlinie des YSI-NTC notwendig ist, wird der Rohwert gemeinsam mit dem Namen der Funktion an das hier beschriebene Modul übergeben.

Zuerst wird aus der Starlog-Datei "PDLOUT.FOR", in der sämtliche verfügbare Formeln gespeichert sind (es können auch eigene Formeln definiert werden, diese sind dann im Schema-Editor verfügbar), die spezifizierte Formel extrahiert, damit diese Schritt für Schritt abgearbeitet werden kann. Die Berechnung funktioniert nach dem "Push-stack-" bzw. "First-in-first-out"-Prinzip: Während der Berechnung werden die Zahlenwerte in einem Stapel gespeichert, die Operanden beziehen sich immer auf die obersten Elemente. Nach der Berechnung wird das oberste Element des Stapels durch das Ergebnis ersetzt. Nach Abschluss aller Berechnungen wird der oberste Wert des Stapels als finales Ergebnis ausgegeben. Wird eine neue Formel berechnet, wird der gesamte Stapel auf Null zurückgesetzt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, (Zwischen-) Ergebnisse in zehn Speicherplätzen abzulegen und so an andere Formeln weiterzugeben. In SONAPP wird dies durch die Verwendung einer Textdatei (PDLOUT.ini) als Speicher realisiert. Das Belegen bzw. Auslesen von Speicherplätzen wird durch die beiden Funktionen "Starlog3_PDLOUT.ini_write.vi" bzw. "Starlog3_PDLOUT.ini_read.vi" bewerkstelligt.

Folgende Operanden aus Starlog 3 sind in SONAPP verfügbar:

- pushv (Rohwert auf das Stack schieben)
- add, sub, mul, div, mod, pwr (den zweiten Eintrag des Stapels hoch den ersten)
- dup (oberstes Element duplizieren)
- abs, atn, cos, exp, exp, log, sin, sqr, tan
- not (Boolsche's Verneinen)
- clr (Stapel löschen), sto (legt den zweiten Wert im Speicherplatz, der durch den obersten Wert spezifiziert wird, ab), rcl (ersetzt den obersten Wert des Stapels mit dem Wert vom spezifizierten Speicherplatz in der PDLOUT.ini), end (beendet die Berechnung der Formel)
- cmp (Vergleich der obersten beiden Elemente), beq (Verzweigung bei Gleichheit der beiden obersten Werte), bne (Verzweigung bei Ungleichheit der beiden obersten Werte), bge (Verzweigung bei Ungleichheit der beiden obersten Werte: der zweite Wert ist größer oder gleich dem obersten), ble (Verzweigung bei Ungleichheit der beiden obersten Werte: der zweite Wert ist kleiner oder gleich dem obersten), blt (Verzweigung bei Ungleichheit der beiden obersten Werte: der zweite Wert ist kleiner als der oberste), bgt (Verzweigung bei Ungleichheit der beiden obersten Werte: der zweite Wert ist größer als der oberste)

Ein Sonderfall ist, dass anstatt eines Operanden innerhalb einer Formel eine andere Formel aufgerufen wird. Da das Modul "Starlog3_PDLOUT1.vi" nicht rekursiv aufgerufen werden kann, wurde ein weiteres zur Formelberechnung erstellt ('Starlog3_PDLOUT2.vi'). Im Wesentlichen ist dieses mit dem obengenannten ident, lediglich die Möglichkeit, innerhalb einer Formel eine weitere aufzurufen, ist nicht mehr gegeben. Insofern deckt sich der Funktionsumfang mit UNIDATA Starlog 3. Außerdem wird an das zweite Modul kein einzelner Wert übergeben, sondern der gesamte Stapel in seiner Zusammensetzung zum Zeitpunkt des Formelaufrufs. "Starlog3_PDLOUT2.vi" hingegen gibt nurmehr den obersten Wert seines Stapels zurück und ersetzt damit das oberste Element des ursprünglich übergebenen Stacks.

12 Ausblick und mögliche Erweiterungen

Wie bereits in Abschnitt 9.1 angesprochen, gibt es wünschenswerte Erweiterungen zu SONAPP, die aus bestimmten Gründen in die vorliegenden Version v1.000 nicht inkludiert wurden, oder deren Notwendigkeit zum Zeitpunkt der Entwicklung noch nicht absehbar war.

Datenexport nach netCDF

Dieses Datenformat wird in letzter Zeit immer häufiger verwendet, da es den Datenaustausch und deren Bereitstellung zwischen verschiedenen Arbeitsgruppen und Organisationen erheblich erleichtert. In Hinblick auf die Teilnahme an Messkampagnen mit internationaler Beteiligung oder dem Mitwirken an länderübergreifenden Projekten erscheint es sinnvoll, dieses Datenformat auch für die Messdaten der Windmaster-Ultraschallanemometer zu verwenden. Aus Zeitgründen konnte dies jedoch nicht in SONAPP übernommen werden. Es wird daher an dieser Stelle vorgeschlagen, SONAPP diese Erweiterung später angedeihen zu lassen, hinsichtlich des erheblichen Aufwandes, den dieses Projekt fordert, könnte dies idealerweise im Rahmen einer Diplomarbeit am IMGW geschehen.

Import von Starlog 3-Daten

Bis zum Zeitpunkt des ersten operativen Einsatzes von SONAPP wurden die Daten mithilfe der Software aus dem Lieferumfang der Logger (Starlog 3) übertragen. Nach der Übertragung legt diese Programm die ausgelesenen und interpretierten Werte in internen Binärdateien ab. Diese können dann später mit demselben Programm nach *.txt oder *.csv exportiert werden. Leider geben weder Bedienungshandbuch, Programmieranleitung und Kundendienst irgendeine Auskunft, über das Format der Binärdateien, deshalb kann SONAPP diese nicht importieren. Das ist insofern unangenehm, als dass bereits bestehende Daten nicht mit dem Visualisiserungs- und Export-Modul behandelt werden können. Als möglicher Ausweg könnte für die von Starlog 3 exportierten *.txt und *.csv-Dateien ein Importfilter vorgesehen werden, da diese Dateien mit

einfachen Mitteln lesbar sind und so deren Format bestimmt werden könnte.

Im Vorfeld einer solchen Modifikation sollte allerdings unbedingt abgeklärt werden, ob überhaupt so viele Daten aus Starlog 3 existieren, als dass eine Änderung gerechtfertigt wäre, da ja Starlog 3 in Zukunft zur Gänze von SONAPP abgelöst werden soll.

Hinzufügen von weiteren Stationen

Zum Zeitpunkt der Entwicklung wurde die maximale Anzahl der Stationen auf vier Einheiten beschränkt, da am IMGW nicht mehr als eben vier Stück vorhanden waren. Sollte sich die Notwendigkeit der zahlenmäßigen Erweiterung ergeben, können durch relativ einfaches Klonen von vorhanden Stationen im Quelltext zusätzliche hinzugefügt werden.

Verwendung anderer Sensorik und Datalogger

Entwickelt wurde die Software unter dem Gesichtspunkt, dass die Daten vom momentan vorliegenden Aufbau (Abschnitt II) aufgenommen, interpretiert und gespeichert werden können. Da sich jedoch während der Entwicklung herausstellte, dass zur Bewältigung einiger gestellter Aufgaben stellenweise eine größere Flexibilität des Programms von Nöten sei, wurde schließlich die gesamte Software so ausgelegt, dass prinzipiell beliebige Sensoren an den ProLogger angeschlossen werden können, das Arsenal also nicht bloß auf ein Ultraschallanemometer plus einem Temperatursensor beschränkt ist. Das heißt, jede nur erdenkliche Konfiguration, die seitens des ProLoggers möglich ist, kann von SONAPP richtig interpretiert werden.

Demzufolge besteht die Möglichkeit, jederzeit die Sensorik an den Messstationen zu verändern beziehungsweise zu erweitern, zum Beispiel um die hochfrequente Messung von Feuchte und Temperatur, um mithilfe der Eddie-Kovarianz-Methode den latenten Wärmestrom in der Energiebilanz bestimmen zu können.

Wesentlich schwieriger allerdings würde sich die Adaption auf andere Datenlogger gestalten, da SONAPP v1.000 ausschließlich den spezifischen Befehlssatz des UNIDATA ProLogger beherrscht bzw. verwendet, es können daher mit der Version 1.000 nur diese Datenlogger verwendet werden. Deshalb wurde SONAPP so konzipiert, dass die gesamt Kommunikation mit dem Datenlogger in einem einzigen Modul abläuft (download.vi, siehe Abschnitt 11.1), der Output diese Moduls ist nicht mehr spezifisch für den ProLogger. Die Adaption des Programms, um andere Datenlogger verwenden zu können, kann daher auf die Modifikation oder die Neuerstellung dieses einen Moduls beschränkt werden.

Teil V
Persönliche Einschätzung

Dieser Teil der Arbeit befasst sich mit dem Konzept und dem Funktionsumfang von LabVIEW. Nach der Erklärung des zu Grunde liegenden Konzepts wird erläutert, warum für diese Projekt ausgerechnet LabVIEW als Entwicklungsumgebung gewählt wurde und inwiefern diese, in der wissenschaftlichen Anwendung noch sehr wenig verbreitete Programmiersprache, zur Behandlung wissenschaftlicher Fragestellungen und Durchführung von Berechnungen geeignet ist.

13 LabVIEW: Konzept und Anwendungsbereiche

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) ist eine Entwicklungsumgebung von National Instruments. Die häufigsten Anwendungsgebiete von LabVIEW sind die Mess-, Regel- und Automatisierungstechnik. Anders als bei vielen heute üblichen Programmiersprachen wie etwa C, Visual Basic, Java, Fortran, MATLAB, etc., wird der Quelltext nicht in Skript-Form dargestellt, sondern es werden auf graphischem Weg Programmablaufs- beziehungsweise Blockdiagramme erstellt. Die verwendete graphische Programmiersprache heißt "G". Durch die Verwendung des Datenflussmodells eignet sich LabVIEW besonders gut zur Datenerfassung und -Verarbeitung ([Rahman und Hagestedt 2004] [Rahman und Jaschinski 2006]).

Ein in LabVIEW erstelltes Programm heißt "VI" (Virtual Instrument) und besteht grundsätzlich aus zwei Komponenten: Das Frontpanel stellt die Schnittstelle zum Benutzer dar. Hier erfolgt die Übergabe von Parametern und die Ausgabe der Berechnungen. Das Blockdiagramm enthält den eigentlichen, graphischen Quelltext.

Bei der Erstellung des Quelltextes werden Funktionsblöcke wie Addieren, Subtrahieren, Dividieren, String in Textdatei schreiben, etc., auf dem Blockdiagramm platziert und mit "Datenleitungen" verbunden. In Abbildung (13) ist diese Konzept ersichtlich: Die Werte der Anzeigeelemente werden entlang der je nach Datentyp gefärbten (hier: orange für Real-Zahl mit doppelter Genauigkeit) Datenleitungen an die jeweiligen Funktionen (hier: Addieren und Subtrahieren) übergeben. Nach erfolgter Berechnung geben diese ihrerseits die Werte an die Anzeigeelemente weiter. Ebenso wie vollständige Programme werden diese Funktionsblöcke als VIs bezeichnet, da prinzipiell jedes Programm als Unterprogramm (SubVI) in einem anderen verwendet werden kann bzw. jedes SubVI für sich ausgeführt werden kann. Aufgrund des Datenfluss-Konzeptes sind rekursive Aufrufe grundsätzlich nicht möglich. Es besteht allerdings durchaus die Möglichkeit, dass ein VI eine Kopie von sich selbst aufruft ("reentrant VI"), was funktional der Rekursion entspricht.

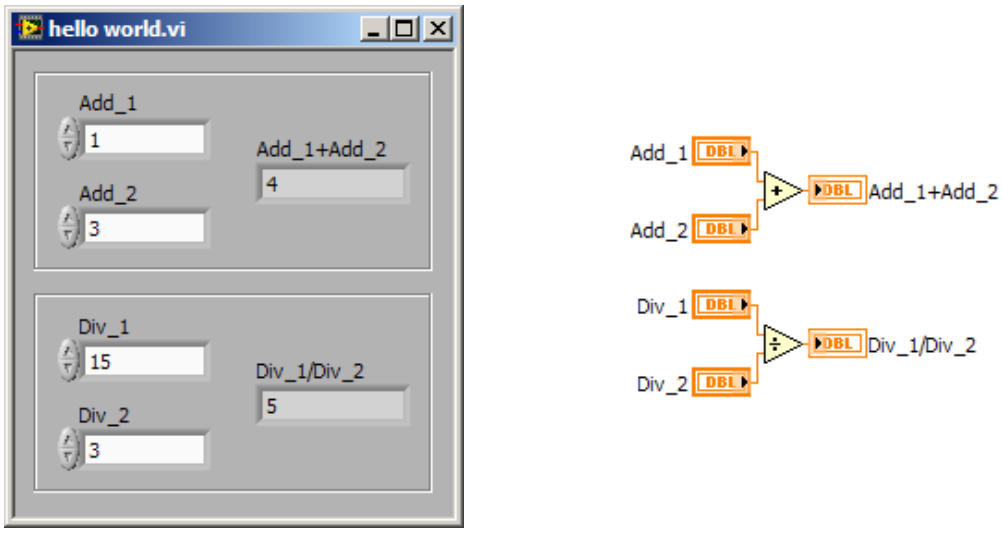

Abbildung 10: Die zwei Bestandteile eines vollständigen LabVIEW-Programms (VIs); links: Das Frontpanel enthält die Eingabe- und Anzeige-Elemente; rechts: Das Blockdiagramm stellt den eigentlichen Quelltext dar. In diesem Beispiel werden die Werte der Eingabefelder "Add_1" und "Add_2" aufaddiert. Das zweite Ergebnis wird als Verhätlnis von "Div_1" durch "Div_2" berechnet. Das jeweilige Ergebnis wird in den Anzeigeelementen "Add_1+Add_2" bzw. "Div_1/Div_2" dargestellt.

Damit von einem VI zum nächsten Daten weitergereicht werden können, werden für jedes Unterprogramm Ein- und Ausgänge definiert, über die diese Daten empfangen oder ausgeben können. Anders als bei Skriptsprachen ist die Ausführungsreihenfolge nicht so starr festgelegt, sondern nur vom Datenfluss abhängig: Die Ausführung eines SubVIs beginnt dann, wenn an allen Eingängen dieses VIs die Daten anliegen. Im Falle des Programms "hello world.vi" aus Abbildung (13) bedeutet das etwa, dass die Funktion "Dividieren" erst dann berechnet wird, wenn die Werte von "Div_1" und "Div_2" gelesen wurden.

Dieses Konzept lässt sich auf hierarchisch beliebig tief verschachtelte Programme anwenden, der Programmablauf folgt dabei stets dem Datenfluss. Nach der Ausführung aller Funktionen werden die Daten an das letzte Anzeige-Element übergeben (bzw. in eine Datei geschrieben, über ein Netzwerk / das Internet versendet, etc.) und die Programmausführung beendet.

14 Abschätzung der Eignung von NI LabVIEW in der wissenschaftlichen Anwendung

Im Folgenden sollen einige besondere Vorteile und Funktionsmerkmale von NI LabVIEW hervorgehoben werden, die insbesondere für wissenschaftlichen Anwendung vorteilhaft erscheinen:

Durch die graphische Darstellung des Quelltextes ist es im Allgemeinen recht einfach, bei

nicht zu umfangreichen Programmen die Programmlogik und die Funktionsweise einfach zur erfassen und zu überblicken. Vor vor allem bei der Zusammenarbeit innerhalb größerer Arbeitsgruppen erleichtert dies die Weitergabe und verteilte Anwendung von Programmen.

NI LabVIEW ist plattformunabhängig, d.h. auch nach dem Kompilieren kann ein VI, unter der Voraussetzung, dass keine plattformspezifischen Elemente (z.B. ActiveX) verwendet wurden, auf nahezu jedem Betriebssystem ausgeführt werden. Besonders erwähnenswert ist diese Tatsache, da die Steuerung von Messgeräten sowie die Datenerfassung häufig auf Windows-Rechnern geschieht, die Datenverarbeitung, -analyse und Berechnung von numerischen Modellen und ähnliche Anwendungen aber nach wie vor eine Domäne von Linux- und Unix-basierten Rechnern darstellen. Mit LabVIEW können Anwendungen erstellt werden, die uneingeschränkt auf verschiedenen Systemen gleichzeitig lauffähig sind.

Durch die Verwendung von so genannten High-Level Funktion, die ihrerseits bereits viele Unterfunktionen enthalten, können relativ rasch komplexe Aufgaben bewältigt werden, wie zum Beispiel Erstellen von Dialogfenstern und Dateiauswahldialogen, komplexen Plotroutinen, aber auch Simulieren von Signalgeneratoren, analogen und digitalen Filtern, Schreiben in und Lesen aus Spreadsheet-Dateien, sowie die Kommunikation über verschiedenste Schnittstellen und Protokolle (IEEE 1394, IEEE 488, USB, RS232, http, ftp). Darüber hinaus ist für LabVIEW eine Unzahl von fertigen Gerätetreibern verfügbar, die es ermöglichen, die Datenerfassung oder Steuerung von vielen Geräten (DAQs, Oszilloskope, Multimeter, Monochromatoren, Spektroradiometer, IR-Kameras, Richtfunkanlagen, Anemometer, Wetterstationen, etc.) direkt bewerkstelligen zu können, ohne von jedem Gerät den exakten Befehlssatz und -syntax kennen zu müssen.

Es stehen viele integrierte mathematische Funktion zur Verfügung, die es ermöglichen, komplexe Berechnung schnell und mit geringem Programmieraufwand zu verwirklichen. z.B.: trigonometrische, exponentielle und hyperbolische Funktionen, Berechnung von Faktoriellen, Permutationen und Binomialkoeffizienten, Berechnung der Bessel- Gauss- und Gammafunktion, Integrieren, Interpolieren (1D, 2D, 3D mit verschiedenen Verfahren: linear, bilinear, bikubisch, Splines, etc.), Anpassungsfunktionen, Statistik, Lösen von Differentialgleichungen (Runge-Kutta, Euler, LSG, etc.), sämtliche Matrixoperationen (Transformieren, Determinanten, LU-Faktorisierung, Invertieren, Kreuzprodukt, etc.), Koordinatentransformationen, etc.. Mit diesem Funktionsumfang ist LabVIEW dem in der wissenschaftlichen Anwendung stark verbreiteten MATLAB absolut ebenbürtig. Abgesehen davon ist es möglich, in sogenannten Formelknoten bestehende MATLAB-Skripts ins Blockdiagramm zu importieren und diese damit nahtlos weiter zu verwenden.

Es stehen komplexe Datentypen wie n-dimensionale Arrays, Cluster, Variant und Referenzen zur Verfügung. Insbesondere mit den vielen intrinsischen Funktionen zur Manipulation und Berechnung von Arrays und Clustern können große Datenmengen auf einmal bearbeitet oder weitergereicht werden. Das erleichtert vor Allem das Schreiben von Inhalten in Dateien und das Darstellen und Plotten von Inhalten, aber genauso das Lösen von Differentialgleichungen und Berechnung von Systemen linearer Gleichungen.

LabVIEW ist multithreading-fähig, d.h., mehrere Programmstränge können echt parallel ausgeführt werden. Es ist sehr leicht möglich, VIs so zu programmieren, dass diese Fähigkeit genutzt wird: Es reicht, zwei SubVIs ohne Datenabhängigkeit nebeneinander zu legen, um sie gleichzeitig mit Multithreading abzuarbeiten. Da keines der beiden VIs vom jeweilig anderen auf Daten warten muss, können, dem Datenfluss folgend, beide gleichzeitig ausgeführt werden. Abbildung (13) zeigt dies anhand eines einfachen Beispiels: Der Knoten "Addieren" ist nicht von den beiden Eingangsgrößen "Div_1" und "Div_2" abhängig, gegengleich wartet der Knoten "Dividieren" nicht auf "Add_1" und "Add_2". Die Berechnungen können daher gleichzeitig ablaufen. In Kombination mit der Unterstützung von Multicore-Prozessoren und 64-bit Speicheradressierung führt diese Konzept bei entsprechender Programmierung zu sehr hohen Ausführungszeiten und kann die Leistung moderner PC-Systeme voll ausnutzen.

Viele obenstehende Fähigkeiten werden erfahrungsgemäß eher MATLAB oder anderen etablierten Programmiersprachen zugeschrieben, mit LabVIEW können aber ohne jegliche Einschränkung dieselben Fragestellungen behandelt werden, mit dem Unterschied, dass die Möglichkeiten zur Ein- und Ausgabe von Daten über verschiedenste Schnittstellen mit LabVIEW wesentlich mächtiger und komfortabler sind.

15 Optimierung einer meteorologischen Station

Eine Zielsetzung dieser Arbeit ist die Optimierung einer meteorologischen Station, in diesem Fall für Stationen zur Messung der Windgeschwindigkeit, der Temperatur und der atmosphärischen Turbulenz. Ausgehend der Grundsituation, dass der Betrieb der Stationen nur mit hohem Zeit- und Personalaufwand und mit eingeschränktem Funktionsumfang möglich ist, wurde eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, die den Funktionsumfang der vorhandenen Geräte optimiert:

Ein Lastenheft zur Auswahl einer geeigneten DAQ zur Aufnahme der Daten des Ultraschallanemometers wurde erstellt. Anhand dieses Lastenhefts kann ein Datenlogger ausgewählt werden, der den Nutzwert des WindMaster gegenüber der jetzt vorhandenen Lösung (UNIDATA Starlog ProLogger) steigert und somit neue Anwendungsbereich erschließt. Wenn auch in diesem Fall speziell die Anforderungen für eine Station zur Windmessung vorgegeben wurden, so lassen sich

dennoch die aufgeführten Auswahl- und Beurteilungskriterien auf beliebige Sationen zur Messung meteorologischer Parameter übertragen und stellen somit universell gültige Kriterien zur Optimierung von Messaufgaben dar.

Es wurden drei reale DAQs evaluiert, anhand deren Auswahl ersichtlich ist, welche Faktoren bei der Zustammenstellung einer Messstation berücksichtigt werden müssen, um die vorgesehenen Anwendungsbereiche abdecken zu können. Sollte eine Neubeschaffung für Datenlogger ins Auge gefasst werden, könnte der entsprechende Abschnitt dieser Arbeit direkt zur Ausschreibung an verschiedene Hersteller gelangen und somit den Beschaffungsprozess beschleunigen und suboptimale Lösungen von vornherein ausschließen.

Durch die Erstellung eines umfassenden Software-Paketes zum Betrieb der Anemometer mit den ProLogger-DAQs wurde im Rahmen des Möglichen die Funktionalität des bestehenden Aufbaus maximiert:

1. Durch die Verwirklichung der Datenübertragung über eine GSM-Verbindung können die Daten wesentlich öfter abgefragt werden, ohne dass jedes Mal die Station aufgesucht werden muss. Infolgedessen besteht die Möglichkeit, trotz des sehr begrenzten Speicherplatzes der DAQs, wesentlich öfter die Werte des Anemometers abzufragen, was dem Funtkionsumfang der teuren Anemometer eher entspricht und im Sinne möglichst umfangreicher Datenerfassung zu bergrüßen ist.

2. Die in SONAPP integrierte Routine zur Zeitsynchronisation der Stationen verbessert wesentlich die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den einzelnen Geräten. Je höher die zeitliche Auflösung der Messungen ist, umso bedeutender wird dieser Umstand. Abgesehen davon ist hiermit die Genauigkeit zeitkritischer Messungen über längere Zeiträume hinweg sichergestellt.

3. Das Modul zur Darstellung und dem Export vorhandener Datensätze ermöglicht den Datenaustausch zwischen Arbeitsgruppen, sowie die Archivierung und Zuordnung der Daten. Aufgrund der in den Dateiheadern enthaltenen Metainformationen ist auch bei späteren Berechnungen oder aber Servicefällen einzelner Geräte die eindeutige Identifikation der Messreihen möglich.

Abgesehen von der Funktionalität, die SONAPP bietet, und der Optimierung der Messtationen spielt das Erlernen einer neuen, mächtigen Programmiersprache eine wesentliche Rolle: Mit den hierbei erworbenen Kenntnissen ist das Verständnis für die Anforderungen an hochqualitative Messanordnungen und -abläufe wesentlich erweitert worden. Gerade in Hinblick auf das eher geringe Hintergrundwissen vieler Meteorologen in Bezug auf Datenverfügbarkeit und

-qualität, bzw. messtechnischer Methoden an sich, stellt diese Arbeit eine unbedingt notwendige Erweiterung dar, weil sie verdeutlicht, wie komplex und aufwändig diese Zusammenhänge tatsächlich sind, und wie sehr unzureichende oder fehlerhafte Daten die Untersuchung meteorologische Phänomene behindern können.

Literatur

[Acumen Instruments Corporation 2004] Acumen Instruments Corporation (2004). *DataBridge SDR-CF and SDR-OEM-CF Configuration Guide*. Revision 1.1.

[Campbell scientific (Canada) corp. 2004] Campbell scientific (Canada) corp. (2004). *Models 44212, 44212B and 44212EC Temperature probes instruction manual*.

[Campbell Scientific, Inc. 2006a] Campbell Scientific, Inc. (2006a). *CR3000 Micrologger Overview*.

[Campbell Scientific, Inc. 2006b] Campbell Scientific, Inc. (2006b). *CR5000 Measurement and Control System Overview*.

[DataAq Instruments, Inc. 2006] DataAq Instruments, Inc. (2006). *DI-710 Series Data Sheet*. 330-668-1444.

[Datataker Pty Ltd 2008] Datataker Pty Ltd (2008). *DT80/80G, DT81,DT85/85G Series 1 and 2 User's Manual (Includes CEM20)*.

[Demtröder 2003] Demtröder, W. (2003). *Experimentalphysik 1*. Springer Verlag, 3. Aufl.

[Etling 2002] Etling, D. (2002). *Theroretische Meteorologie*. Springer Verlag, 2. Aufl.

[Foken 2006] Foken, T. (2006). *Angewandte Meteorologie: Mikrometeorologische Methoden*. Springer Verlag, 2. Auflage Aufl.

[Gill Instruments Ltd 2000] Gill Instruments Ltd (2000). *WindMaster Ultrasonic Anemometer User Manual*. DocId 1086-PS-0028.

[Grant Instruments 2005] Grant Instruments (2005). *Squirrel 2040 Data Loggers*. DocId 2040/0405UK/V2.

[Grant Instruments 2006] Grant Instruments (2006). *Data Acquisition Squirrel Range – Technical Notes*. DocId Mar 06 V8.2.

[Grant Instruments 2008] Grant Instruments (2008). *Squirrel Data Logger 2020/2040 series: Getting Started*. Version 9.

[Kraus 2004] Kraus, H. (2004). *Die Atmosphäre der Erde*. Springer Verlag, 3. Aufl.

[Rahman und Hagestedt 2004] Rahman, J. und A. Hagestedt (2004). *LabVIEW – Das Grundlagenbuch*. Addison-Wesley, München, 4. Aufl. ISBN 3-8273-2051-8.

[Rahman und Jaschinski 2006] Rahman, J. und H. Jaschinski (2006). *Virtuelle Instrumente in der Praxis – VIP 2006*. Hüthig-Verlag. ISBN 3-7785-2976-5.

[Siemens 2007] Siemens (2007). *TC35 Terminal Hardware Interface Description*. DocId TC35i_T_HD_v03.01a.

[Siemens 2008] Siemens (2008). *AT Command Set Siemens Cellular Engines*. DocId TC3X-ATC-01-V03.00.

[Telecommunication standardization sector of ITU 2003] Telecommunication standardization sector of ITU (2003). *Control procedures: Serial asynchronous automatic dialling and control V.250*. International Telecommunication Union.

[Unidata 2008] Unidata (2008). *http://www.unidata.ucar.edu/*. UCAR Office of Programs.

[Unidata Pty Ltd 1998] Unidata Pty Ltd (1998). *Starlog Programmer's Manual for Starlog Version 3 Software*. Revision N.

[Unidata Pty Ltd 1999] Unidata Pty Ltd (1999). *Starlog Prologger Hardware Model 7001 Revision 33 Firmware*. Revision A.

[Yellow Springs Instruments Co., Inc. 1989] Yellow Springs Instruments Co., Inc. (1989). *YSI Thermilinear Component YSI 44212*.

[Zmarsly et al. 2002] Zmarsly, E., W. Kuttler und H.Pethe (2002). *Meteorologisch-klimatologisches Grundwissen*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 2. Aufl.

Abbildungsverzeichnis

1 Funktionsprinzip eines Ultraschallanemometers . . . 13
2 Messanordnung mit WindMaster Ultraschallanemometer . . . 14
3 Datenfluss-Diagramm . . . 15
4 Schaltschrank der Messanordung . . . 16
5 SONAPP: Elemente des Hauptfensters . . . 46
6 SONAPP: Download-Fenster . . . 48
7 SONAPP: Setup-Fenster . . . 51
8 SONAPP: Datenauswahl für die Visualisierung . . . 52
9 SONAPP: Visualisierung der Datenreihen . . . 54
10 LabVIEW: Frontpanel und Blockdiagramm . . . 68
11 current VIs path_strip.vi . . . 80
12 download_station_aborted.vi . . . 80
13 download_station.vi . . . 81
14 download_station.vi Unterdiagramme . . . 82
15 download_station_get_command array.vi . . . 82
16 download_station_get_deltaT.vi für die Verbindung über RS232-Kabel . . . 82
17 download_station_get_deltaT.vi für die Verbindung über GSM . . . 83
18 download_station_get_filename.vi mit Unterdiagrammen . . . 83
19 GraphEx.vi . . . 84
20 GraphEx_select_files.vi . . . 85
21 GSM_build_connection.vi . . . 85
22 GSM_kill_connection.vi . . . 85
23 HEX_convert_BitOrder.vi . . . 85
24 Map.vi . . . 86
25 Map.vi Unterdiagramme . . . 87
26 HEX_to_scan_count.vi . . . 87
27 Map_draw_windrose.vi . . . 88
28 Map_get_map.vi . . . 89
29 Map_get_station.vi . . . 89
30 Map_snap_to_nearest_point.vi . . . 89
31 ProLogger_get_checksum.vi . . . 90
32 read_string_from_VISA_resource.vi . . . 90
33 rotate_2D-array_90deg_cw.vi . . . 90
34 Setup.ini_open.vi . . . 90
35 Setup.vi (Teil 1) . . . 91
36 Setup.vi (Teil 2) . . . 92
37 Setup_correct_scheme_name.vi . . . 93
38 Starlog3_get_formula.vi . . . 93
39 Starlog3_get_header.vi . . . 93
40 Starlog3_get_scheme_name.vi . . . 94
41 Starlog3_PDLOUT1.vi Aufruf mit allgemeiner Funktion . . . 94
42 Starlog3_PDLOUT1.vi Aufruf mit Formelaufruf . . . 94
43 Starlog3_PDLOUT.ini_read.vi und Starlog3_PDLOUT.ini_write.vi . . . 94
44 XY_to_data.vi . . . 95

Teil VI
ANHANG

A Definitionen und Begriffserklärungen

DAQ

Der Begriff DAQ (Data Acquisition) bezeichnet in der Messtechnik ganz allgemein den Vorgang der Datenerfassung. Es spielt dabei keine Rolle, ob Daten von einer analogen Quelle mittels eines Analog-Digital-Wandlers in digitale Form gebracht werden, oder ob direkt digitale Daten erfasst werden. Im erweiterten Sinne jedoch steht DAQ auch für Hardware, die zur Datenerfassung verwendet wird (Analog-Digital-Wandler, Frequenzmessung, Signalkonditionierung und Umsetzung in digitale Form, etc.)

Datenlogger

Ein Datenlogger ist ein Gerät, das die Datenerfassung (Signalkonditionierung, Analog-Digital-Wandlung) und -aufzeichnung kombiniert. Solche Geräte verfügen oft über mehrere Eingänge, die verschiedene Signaltypen aufnehmen können (Strom-, Spannungs-, Frequenzsignale) und die erfassten Werte in einem internen oder externen Speicher (z.B. Speicherkarten, USB-Sticks u.Ä.) aufzeichnen, der über die Verbindung zu einem PC auf selbigen übertragen werden, damit die Werte zur Auswertung bereitstehen.

AT-Befehlssatz

Unter AT-Befehlssatz versteht man einen Satz ursprünglich von der Firma Hayes Communications entwickelter und zum Quasi-Standard gewordener Befehle zum Konfigurieren und Parametrieren von Modems. Die Zeichen "AT" stehen dabei für "attention" und müssen vor jedem Befehl gesendet werden. Der Einsatz dieses Standards macht den Einsatz von gerätespezifischen Modemtreibern entbehrlich [Telecommunication standardization sector of ITU 2003].

NI LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) ist eine Entwicklungsumgebung von National Instruments. Die häufigsten Anwendungsgebiete von LabVIEW sind die Mess-, Regel- und Automatisierungstechnik. Anders als bei vielen heute üblichen Programmiersprachen wie etwa C, Visual Basic, Java, Fortran, MATLAB, etc., wird der Quelltext nicht in Skript-Form dargestellt, sondern es werden auf graphischem Weg Programmablaufs- beziehungsweise Blockdiagramme erstellt. Die verwendete graphische Programmiersprache heißt "G". Durch die Verwendung des Datenflussmodells eignet sich LabVIEW besonders gut zur Datenerfassung und -Verarbeitung.

Logger-Schema

Ein Schema ist ein Programm, das auf einen Datenlogger geladen wird und die Steuerung des Gerätes übernimmt. Die Informationen und Anweisungen in einem Schema enthalten Informationen über: Abtast- (Scan-) -rate, Speicher- (Log-) -intervall, Messbereich (Spannung, Strom, seriell, Frequenz), Auflösung des A/D-Wandlers, etc.

UNIDATA Starlog 3

Diese Software gehört zum Lieferumfang der UNIDATA Starlog ProLogger. Sie ermöglicht das Erstellen eines Logger-Schemas sowie das Übertragen desselben auf einen ProLogger. Desweiteren können mit Starlog 3 die mittels eines RS232-Kabels die Daten von einem Logger auf einen PC übertragen und in Textdateien exportiert werden.

Virtual Instrument (VI)

Ein in LabVIEW erstelltes Programm heißt "VI" (Virtual Instrument) und besteht grundsätzlich aus zwei Komponenten: Das Frontpanel stellt die Schnittstelle zum Benutzer dar, hier erfolgt die Übergabe von Parametern und die Ausgabe der Berechnungen. Das Blockdiagramm enthält den eigentlichen, graphischen Quelltext, der nach dem Datenflussmodell folgend abgearbeitet wird.

B Lizenzvereinbarung zur Nutzung von SONAPP

Die Nutzung von SONAPP unterliegt der "GNU General Public License v3" (GNU GPL v3) in der Fassung vom 29. Juni 2007. Der vollständige Lizenzvertrag kann unter "http://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.txt" eingesehen werden.

Besonders verwiesen sei auf folgenden Abschnitt der Lizenzvereinbarung:

5. Übertragung modifizierter Quelltextversionen

Sie dürfen ein auf dem Programm basierendes Werk oder die nötigen Modifikationen, um es aus dem Programm zu generieren, kopieren und übertragen in Form von Quelltext unter den Bestimmungen von §4, vorausgesetzt, dass Sie zusätzlich alle im folgenden genannten Bedingungen erfüllen:

a) Das veränderte Werk muß auffällige Vermerke tragen, die besagen, dass Sie es modifiziert haben, und die ein darauf bezogenes Datum angeben.

b) Das veränderte Werk muß auffällige Vermerke tragen, die besagen, dass es unter dieser Lizenz einschließlich der gemäß §7 hinzugefügten Bedingungen herausgegeben wird. Diese Anforderung wandelt die Anforderung aus §4 ab, "alle Hinweise intakt zu lassen".

c) Sie müssen das Gesamtwerk als Ganzes gemäß dieser Lizenz an jeden lizensieren, der in den Besitz einer Kopie gelangt. Diese Lizenz wird daher – ggf. einschließlich zusätzlicher Bedingungen gemäß §7 – für das Werk als Ganzes und alle seine Teile gelten, unabhängig davon, wie diese zusammengepackt werden. Diese Lizenz erteilt keine Erlaubnis, das Werk in irgendeiner anderen Weise zu lizensieren, setzt aber eine derartige Erlaubnis nicht außer Kraft, wenn Sie sie diese gesondert erhalten haben.

d) Wenn das Werk über interaktive Benutzerschnittstellen verfügt, müssen diese jeweils angemessene rechtliche Hinweise anzeigen. Wenn allerdings das Programm interaktive Benutzerschnittstellen hat, die keine angemessenen rechtlichen Hinweise anzeigen, braucht Ihr Werk nicht dafür zu sorgen, dass sie dies tun.

Die Zusammenstellung eines betroffenen Werks mit anderen gesonderten und unabhängigen Werken, die nicht ihrer Natur nach Erweiterungen des betroffenen Werks sind und die nicht mit ihm in einer Weise kombiniert sind, um ein größeres Programm zu bilden, in oder auf einem Speicher- oder Verbreitungsmedium wird als "Aggregat" bezeichnet, wenn die Zusammenstellung und das sich für sie ergebende Urheberrecht nicht dazu verwendet werden, den Zugriff oder die Rechte der Benutzer der Zusammenstellung weiter einzuschränken, als dies die einzelnen Werke erlauben. Die Aufnahme des betroffenen Werks in ein Aggregat sorgt nicht dafür, dass diese Lizenz auf die anderen Teile des Aggregats wirke.

Zusätzliche Bestimmungen

Unbeschadet der Lizenzbestimmung (GNU GPL v3) gelten folgende Bestimmungen:

1. Es ist nicht gestattet, SONAPP für gewerbliche oder profitorientierte Zwecke zu benutzen. Der Einsatz der Software ist ausschließlich für den Einsatz in der Lehre und der Grundlagenforschung gestattet.

2. Es ist untersagt, SONAPP als Gesamtwerk oder einzelne Module bzw. Teile davon, oder darauf aufbauende modifizierte Programme, gegen Entgelt weiterzugeben. Die Weitergabe von obengenannten Elementen darf ausschließlich unentgeltlich erfolgen.

3. Bei der Verwendung von mit SONAPP akquirierten Daten in wissenschaftlichen Projekten und Publikationen ist der Autor dieser Arbeit zu zitieren, entsprechende Literaturangaben sind einzuschließen.

C SONAPP: Vollständiger Quelltext

Es folgt die Auflistung der Quelltexte sämtlicher in SONAPP verwendeter Module.

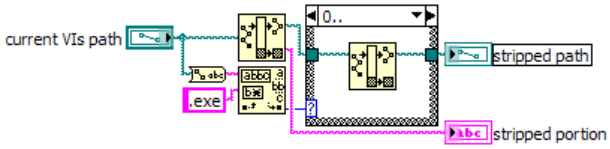

Abbildung 11: current VIs path_strip.vi

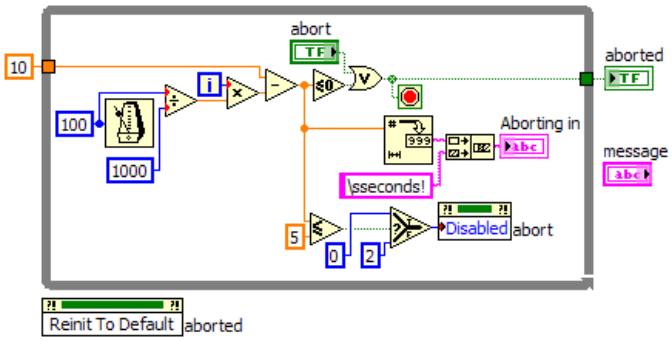

Abbildung 12: download_station_aborted.vi

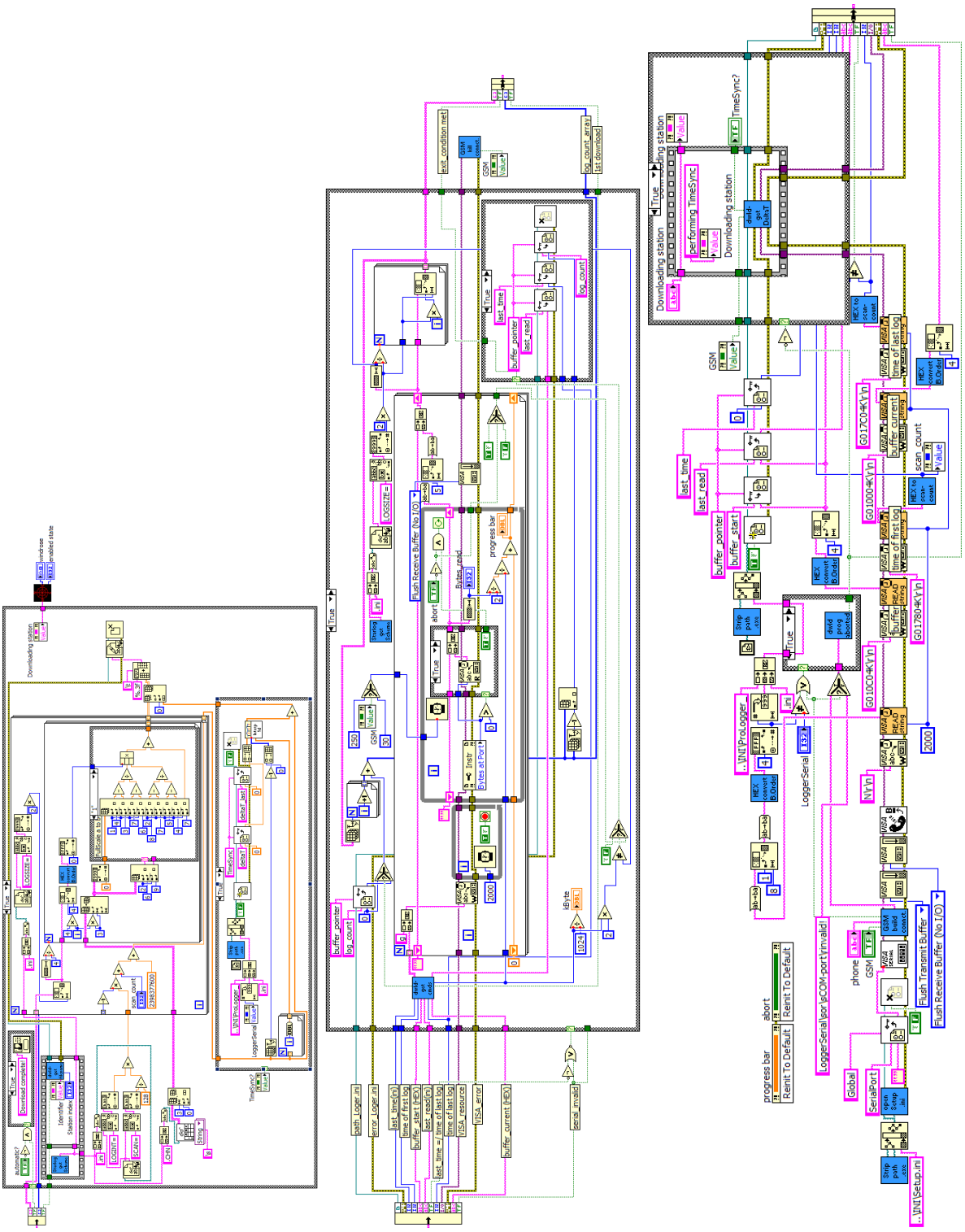

Abbildung 13: download_station.vi

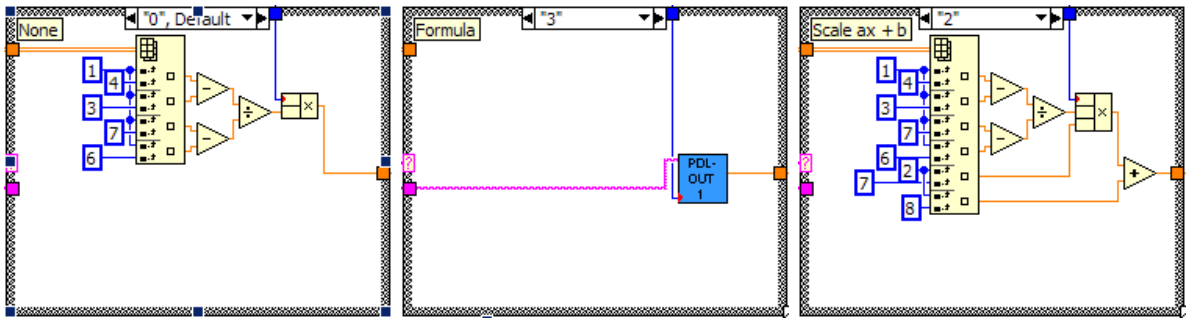

Abbildung 14: download_station.vi Unterdiagramme

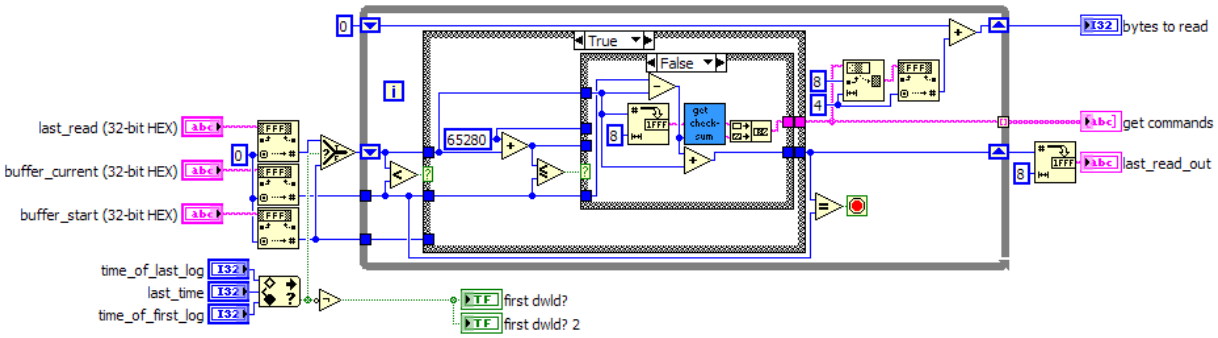

Abbildung 15: download_station_get_command array.vi

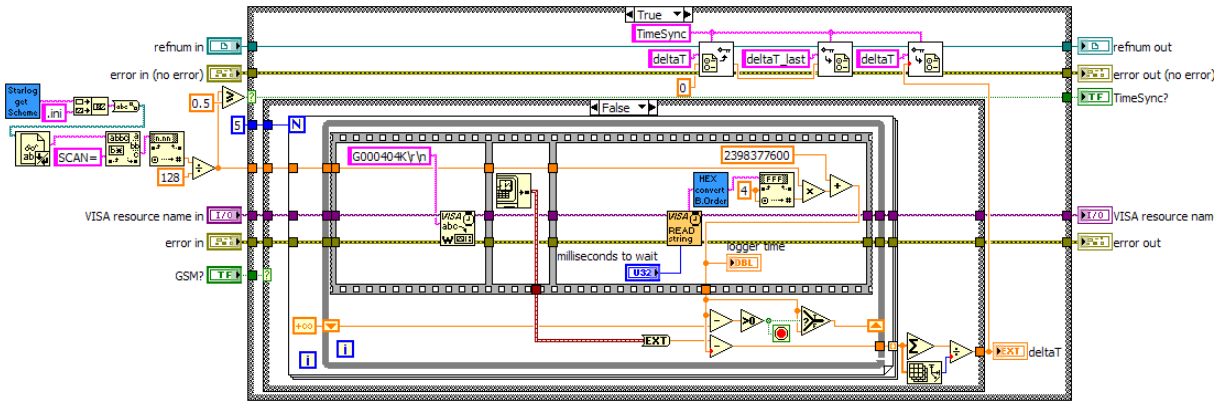

Abbildung 16: download_station_get_deltaT.vi für die Verbindung über RS232-Kabel

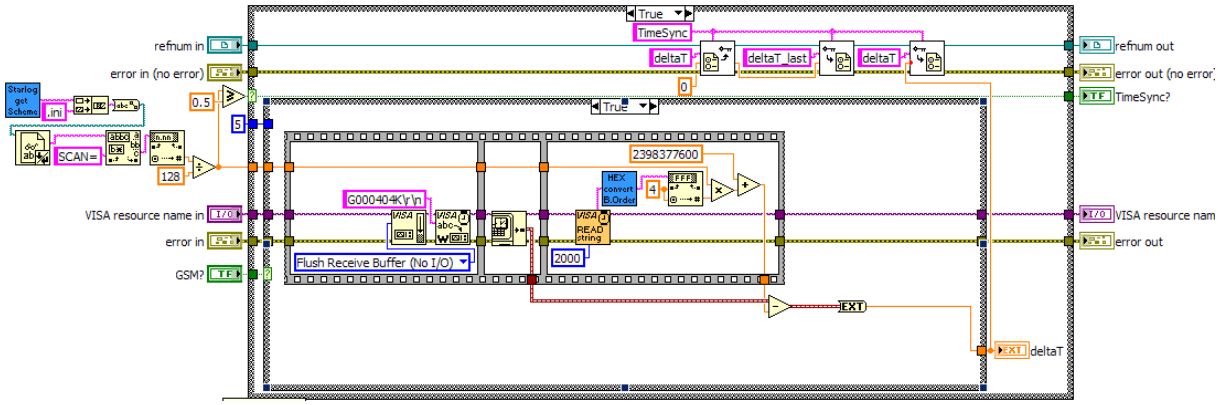

Abbildung 17: download_station_get_deltaT.vi für die Verbindung über GSM

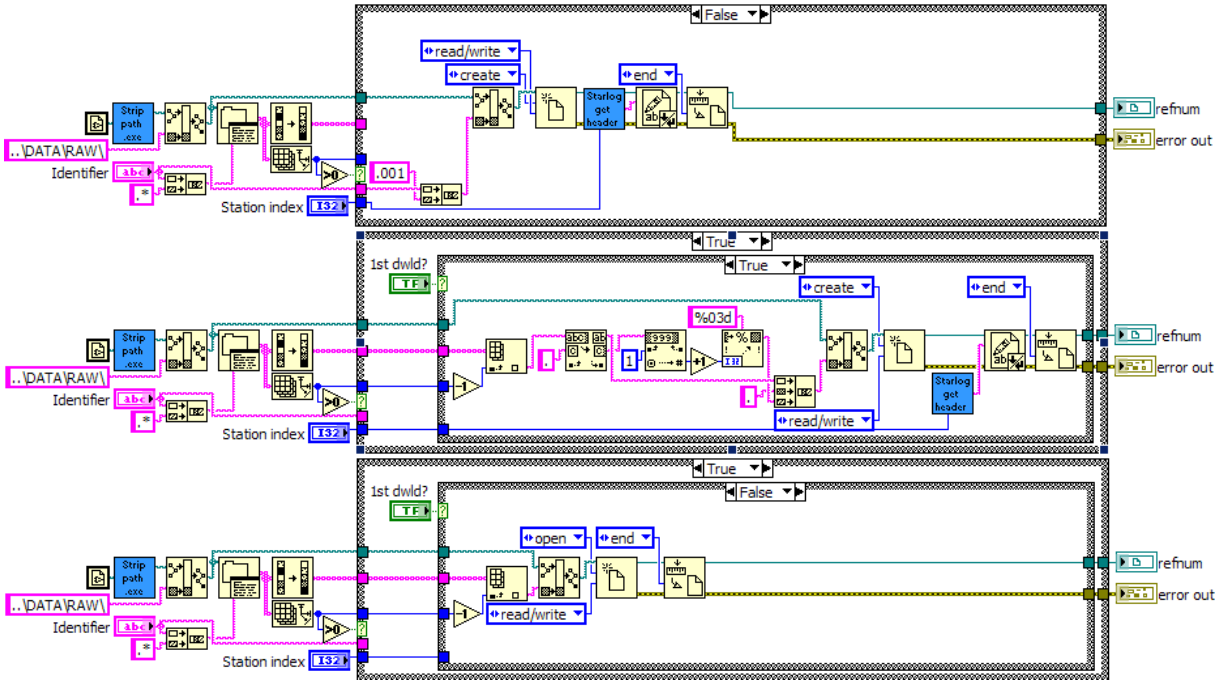

Abbildung 18: download_station_get_filename.vi mit Unterdiagrammen

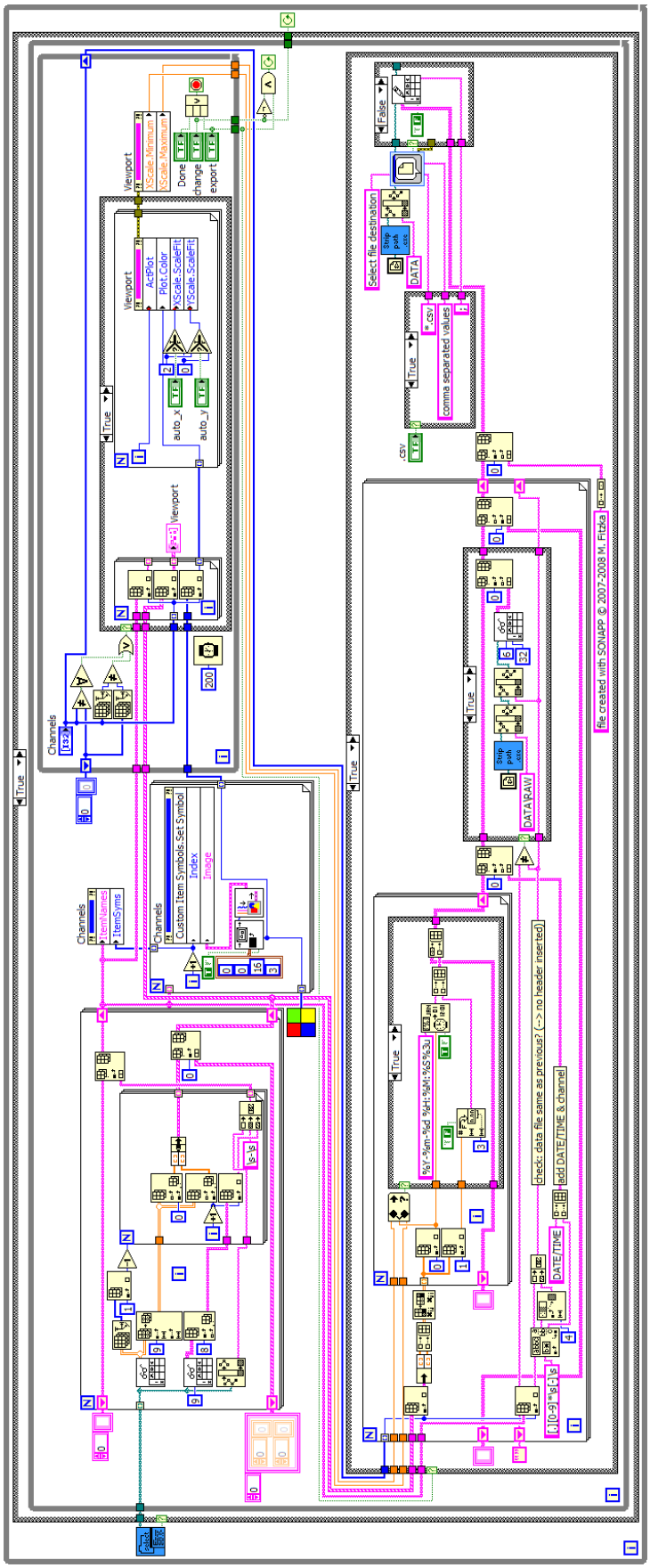

Abbildung 19: GraphEx.vi

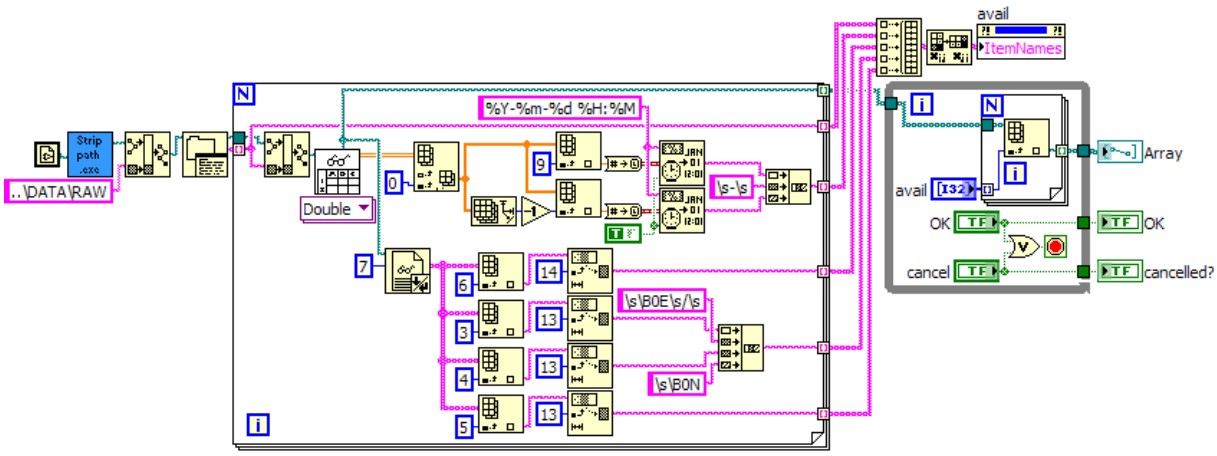

Abbildung 20: GraphEx_select_files.vi

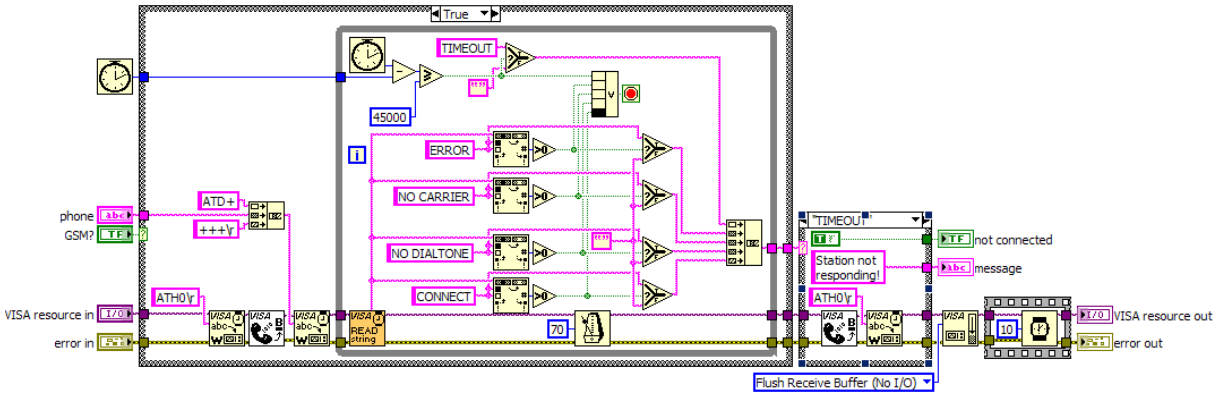

Abbildung 21: GSM_build_connection.vi

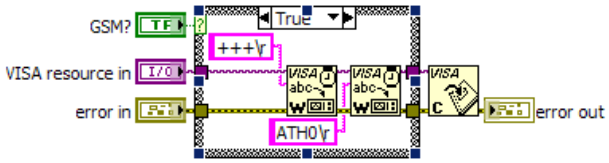

Abbildung 22: GSM_kill_connection.vi

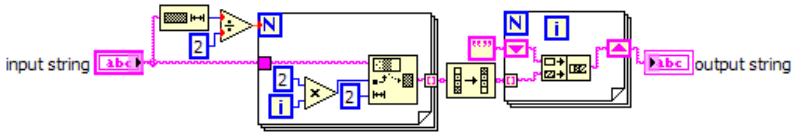

Abbildung 23: HEX_convert_BitOrder.vi

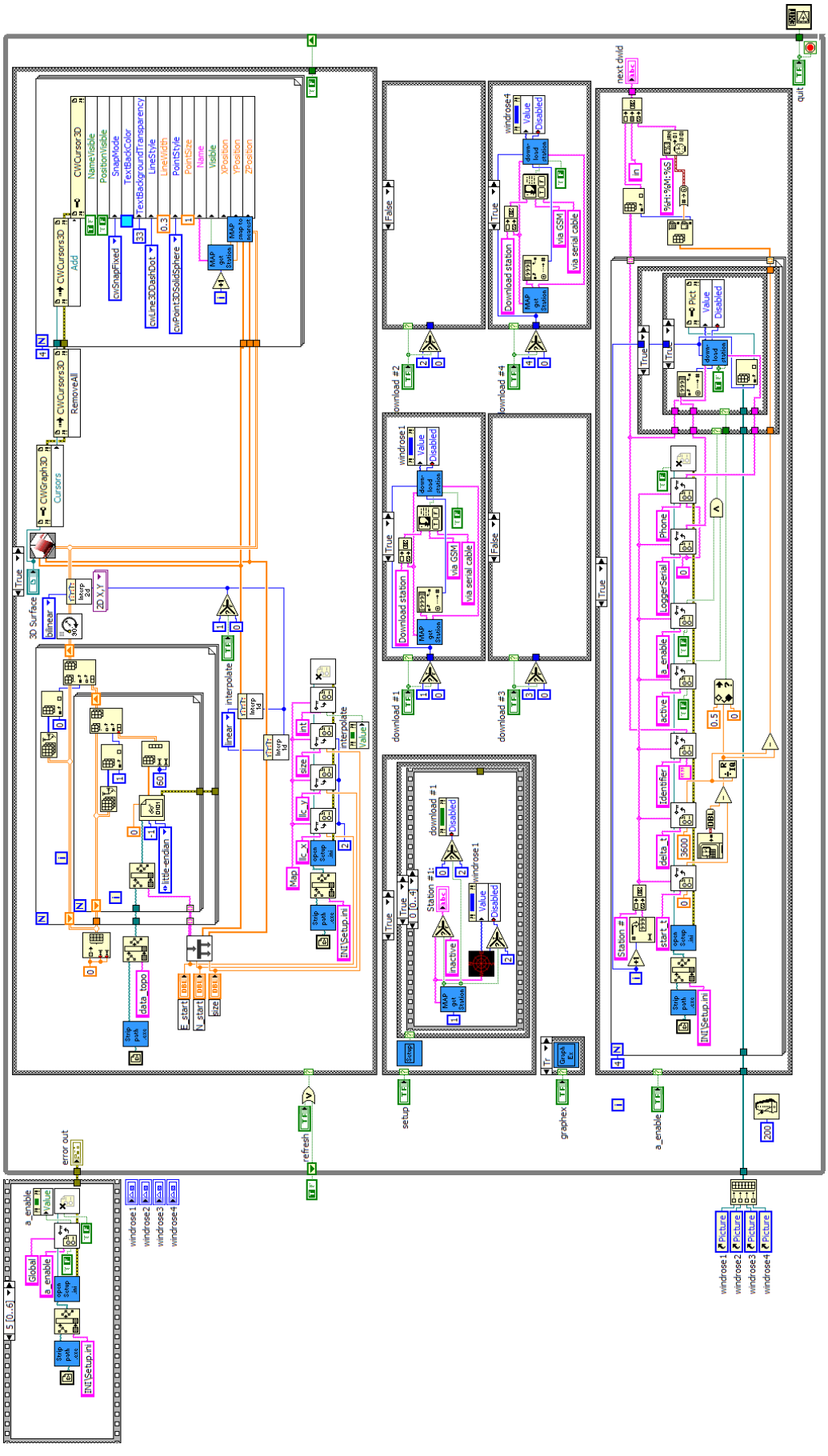

Abbildung 24: Map.vi

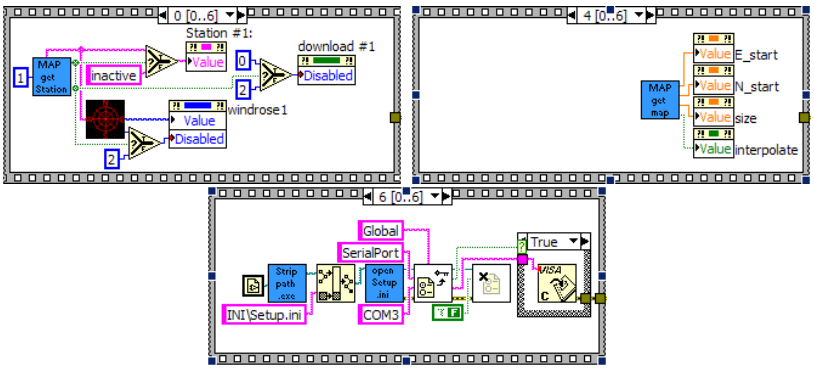

Abbildung 25: Map.vi Unterdiagramme

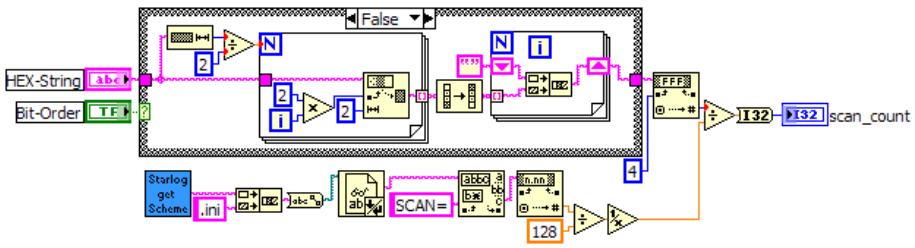

Abbildung 26: HEX_to_scan_count.vi

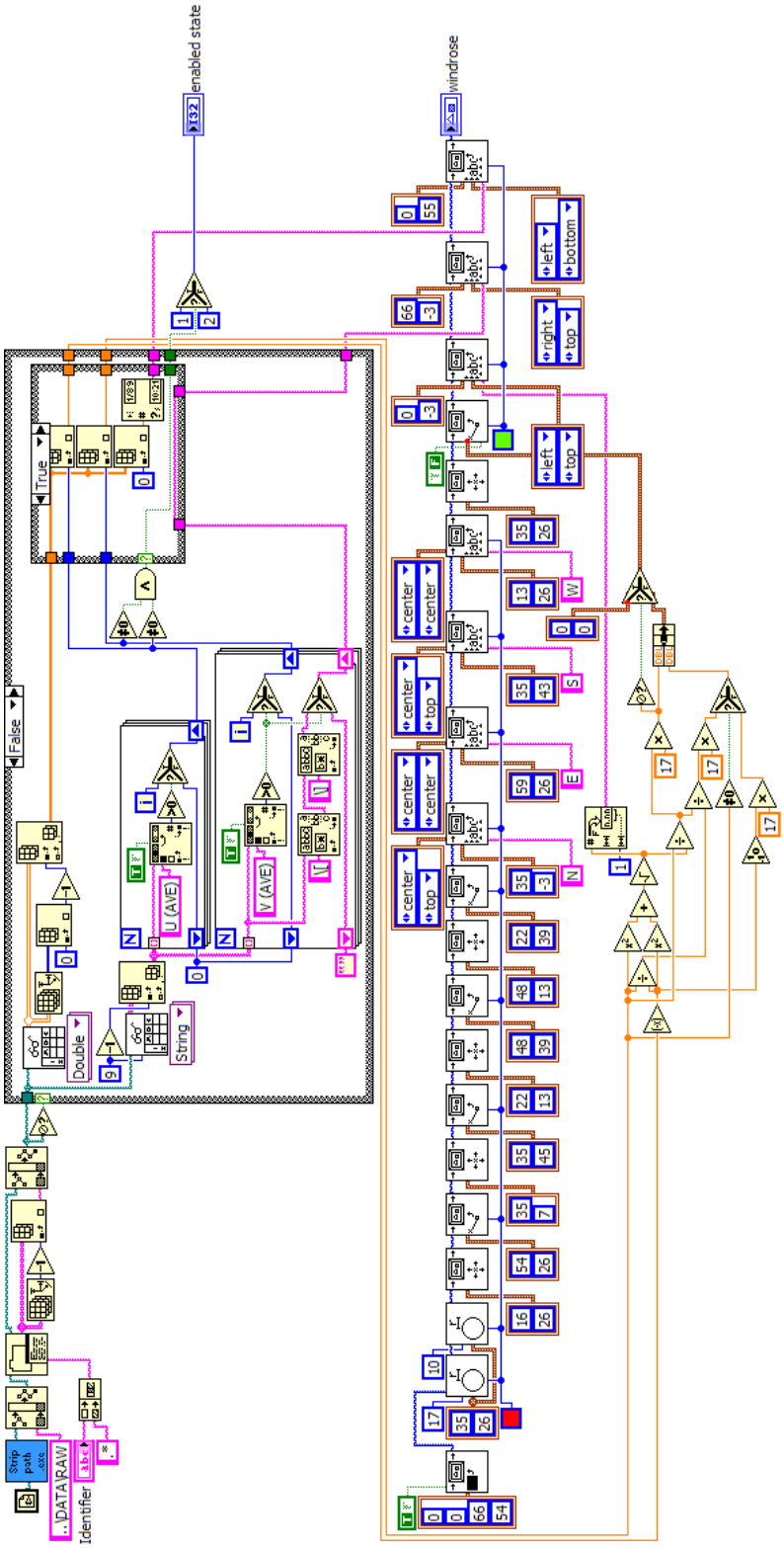

Abbildung 27: Map_draw_windrose.vi

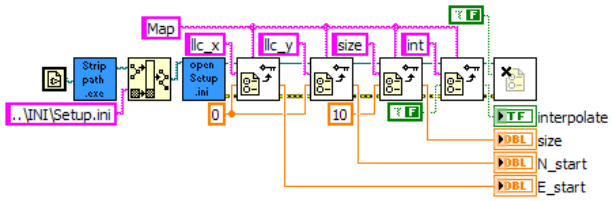

Abbildung 28: Map_get_map.vi

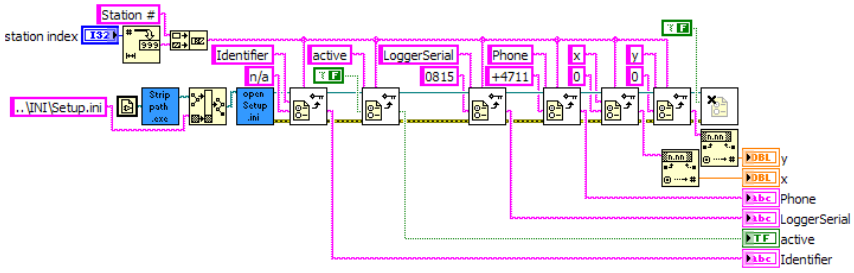

Abbildung 29: Map_get_station.vi

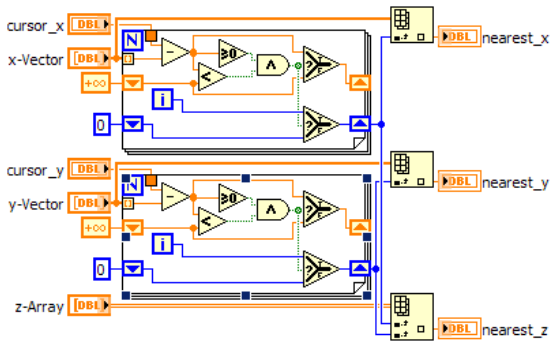

Abbildung 30: Map_snap_to_nearest_point.vi

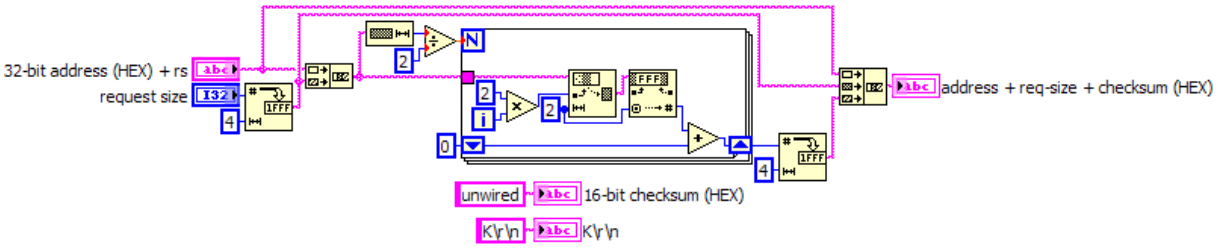

Abbildung 31: ProLogger_get_checksum.vi

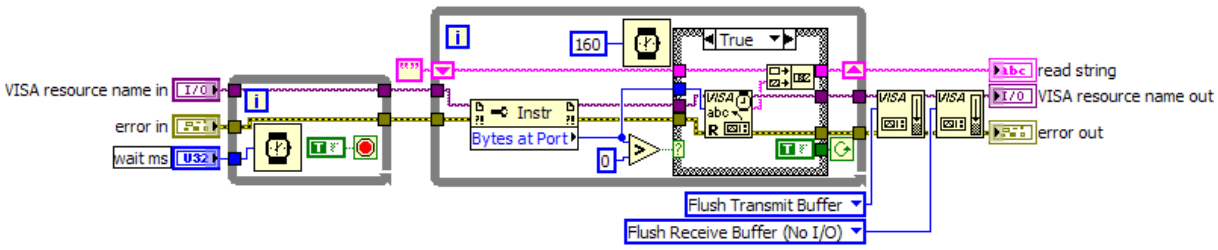

Abbildung 32: read_string_from_VISA_resource.vi

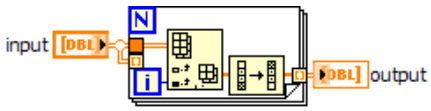

Abbildung 33: rotate_2D-array_90deg_cw.vi

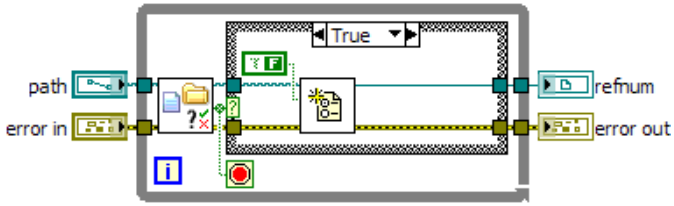

Abbildung 34: Setup.ini_open.vi

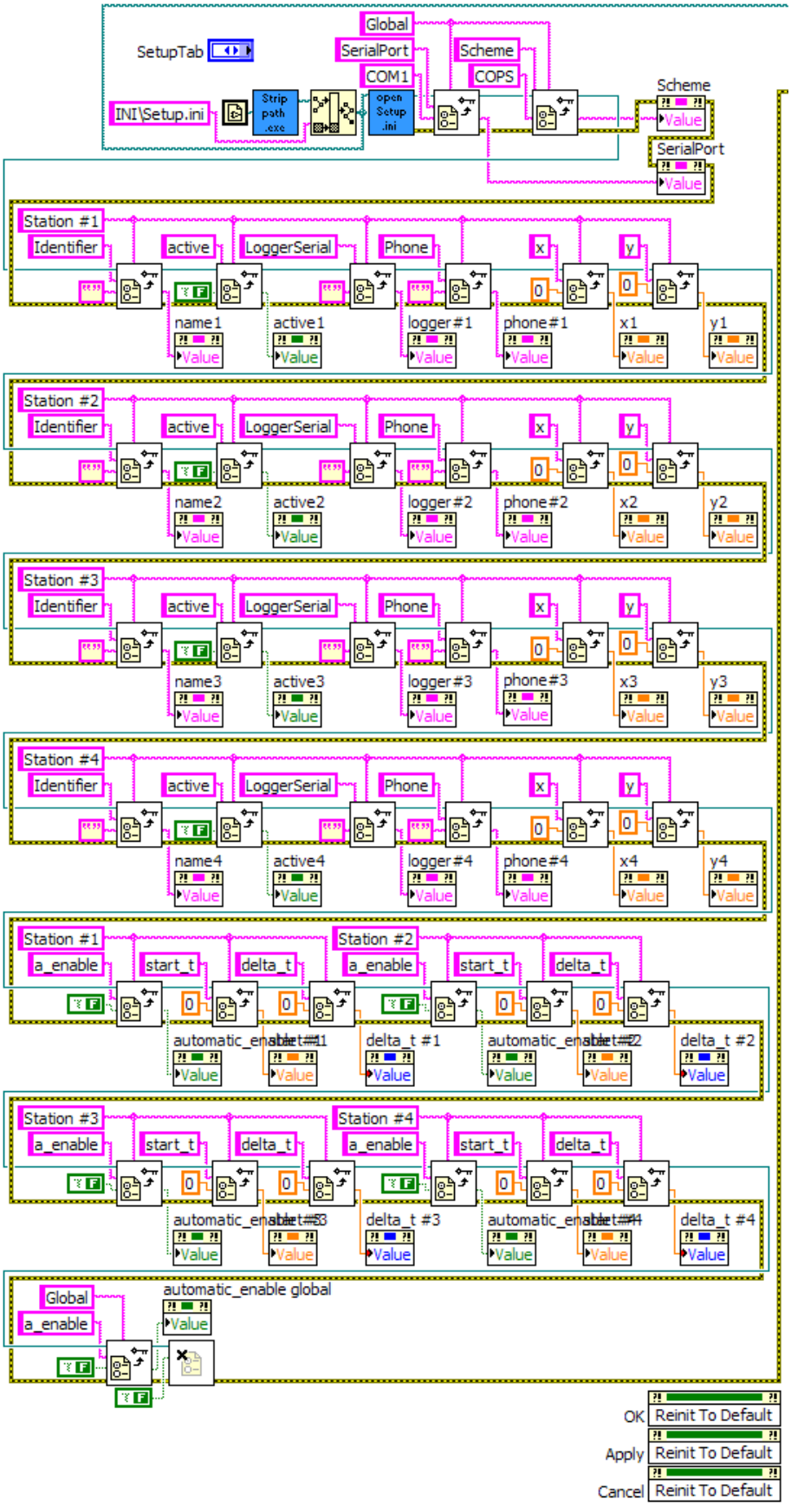

Abbildung 35: Setup.vi (Teil 1)

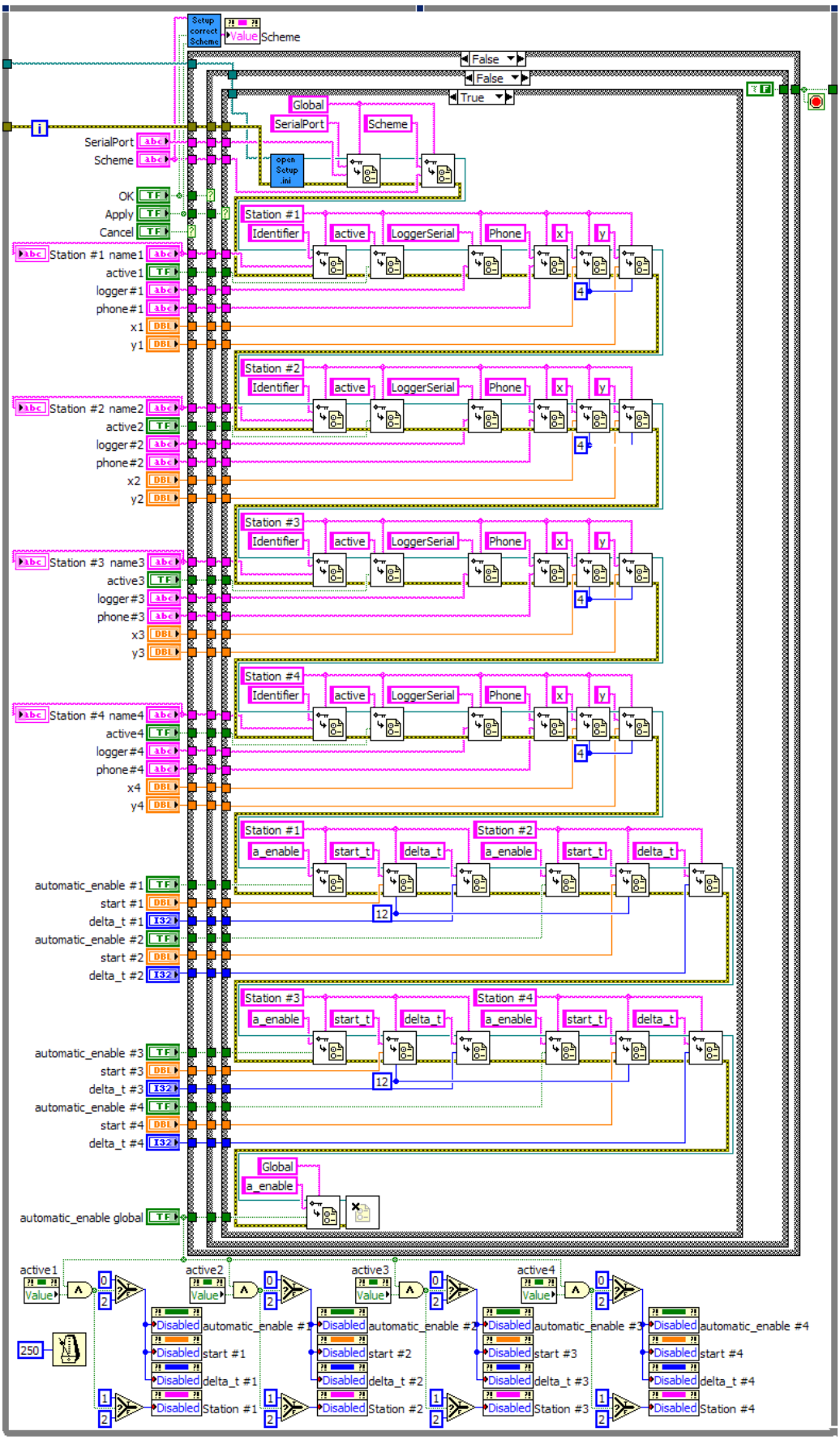

Abbildung 36: Setup.vi (Teil 2)

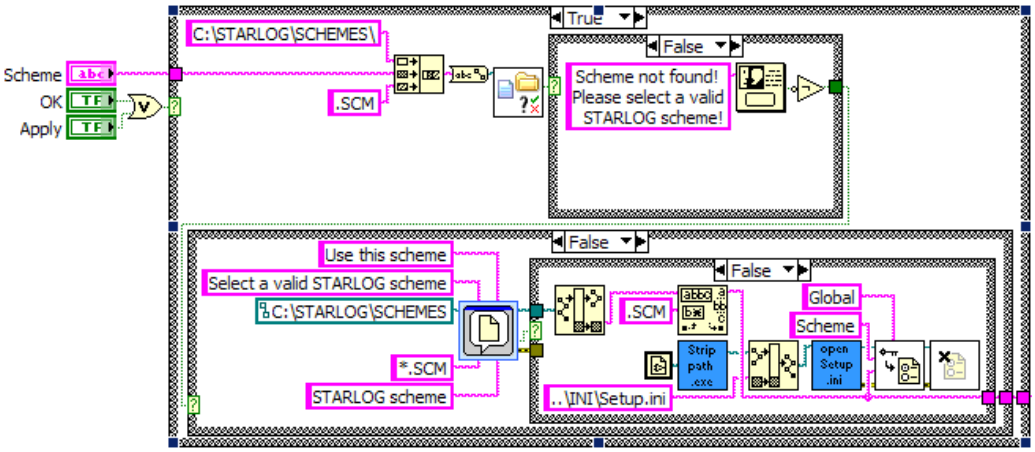

Abbildung 37: Setup_correct_scheme_name.vi

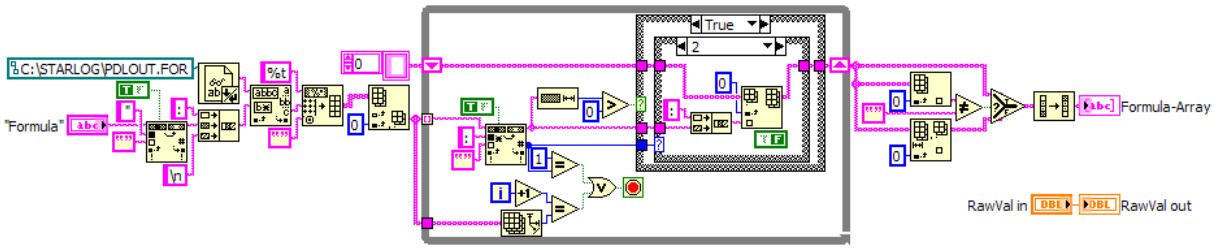

Abbildung 38: Starlog3_get_formula.vi

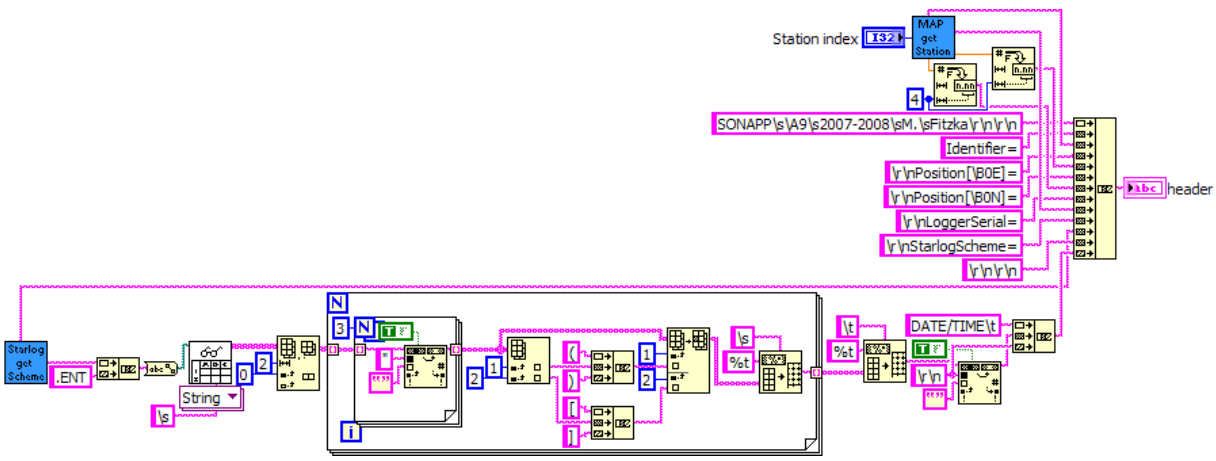

Abbildung 39: Starlog3_get_header.vi

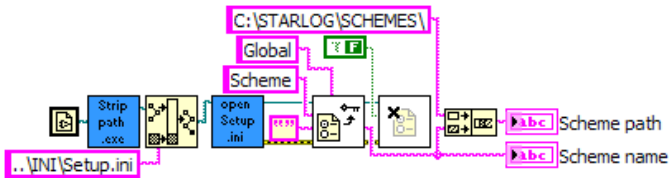

Abbildung 40: Starlog3_get_scheme_name.vi

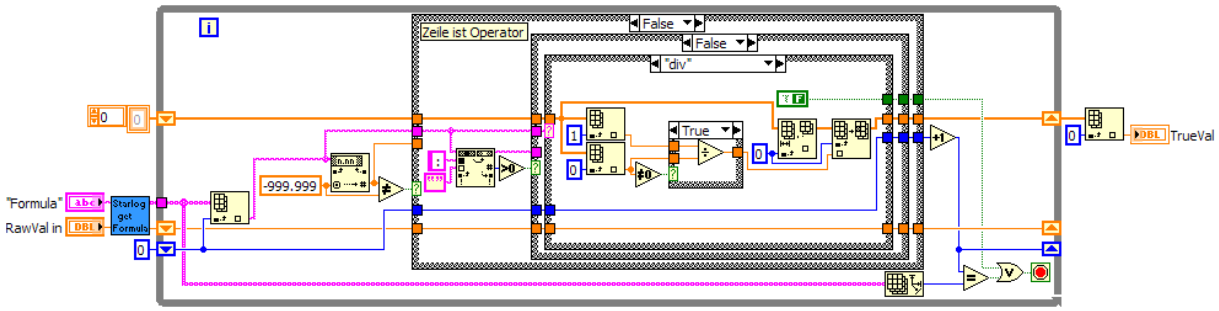

Abbildung 41: Starlog3_PDLOUT1.vi Aufruf mit allgemeiner Funktion

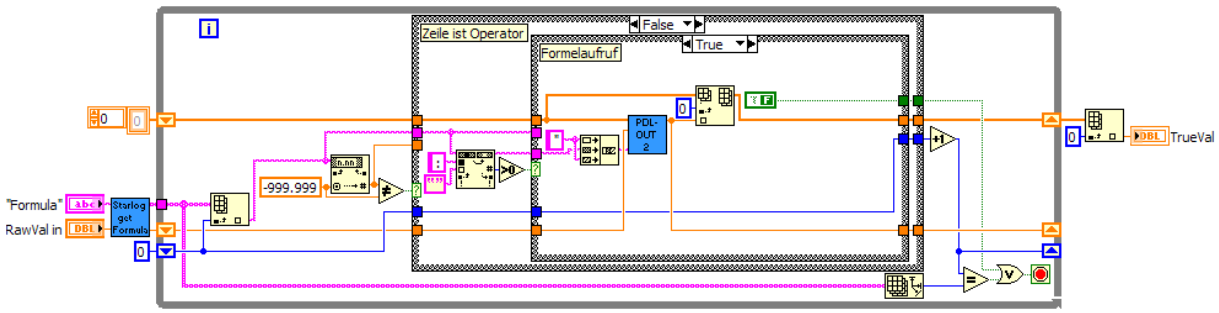

Abbildung 42: Starlog3_PDLOUT1.vi Aufruf mit Formelaufruf

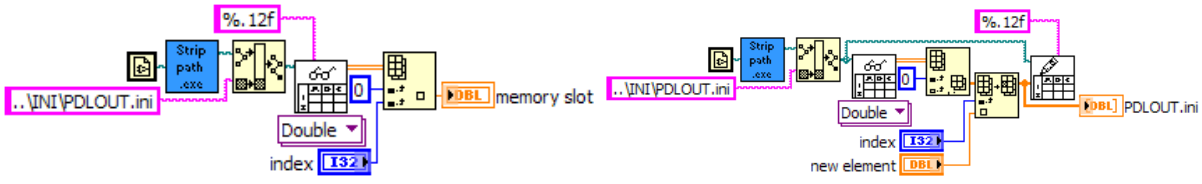

Abbildung 43: Starlog3_PDLOUT.ini_read.vi und Starlog3_PDLOUT.ini_write.vi

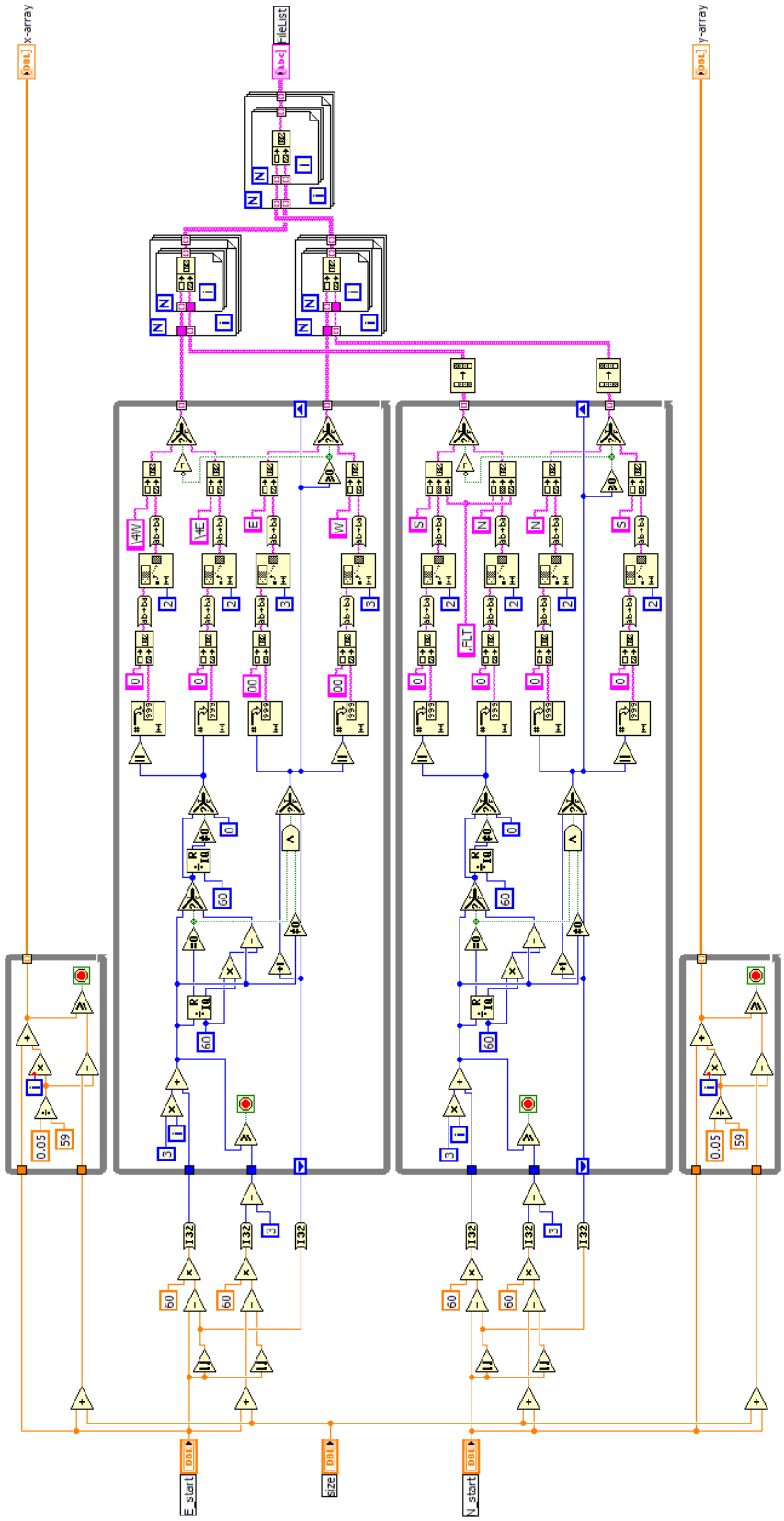

Abbildung 44: XY_to_data.vi

Lebenslauf

Michael Christian Fitzka

Geboren am:	07. September 1983
Geboren in:	St.Pölten
Staatsbürger:	Österreich
Familienstand:	ledig
E-Mail:	mfitzka@gmx.at

Schule & Studium

Juni 2002	Matura am BG/BRG Piaristengasse, Krems
2003 – 2004	1. Studienabschnitt A414 'Meteorologie' am IMG Wien
2004 – 2008	2. Studienabschnitt A415 'Meteorologie' mit Studienschwerpunkt 'Experimentelle Meteorologie' am IMG Wien
September 2008	Fertigstellung und Einreichen der Diplomarbeit zum Thema "Etablierung eines automatischen Messnetzes mit WindMaster Ultraschallanemometern: Optimierung eine meteorologischen Station"

Berufliche Laufbahn

März 2007 - lfd.	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur Wien, Arbeitsgruppe UV-Strahlung und Ozon

Michael Fitzka, September 2008